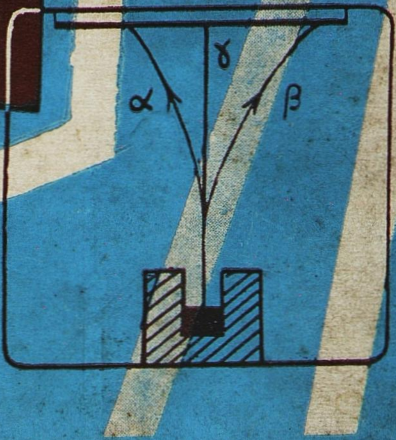
கதிரியக்கம்

[RADIOACTIVITY]

மேஜர்
ப. குட்டியப்பன்



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

கதிரியக்கம்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

மேஜர் ப. குட்டியப்பன்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க. வெ.) வரிசை எண் : 733

கதிரியக்கம்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

ஆசிரியர்

மேஜர் ப. குட்டியப்பன், எம்.ஏ., பி.எஸ்சி. (ஆனர்சு),
இயற்பியல் துறைத் தலைவர்,
அரசினர் கலைக் கல்லூரி,
கோயமுத்தூர்.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—December, 1976

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 733

© Government of Tamilnadu

RADIO ACTIVITY

MAJOR P. KUTTIAPPAN

Price Rs. 9-30

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

Printed out of the Paper allotted by the Government of India.

Printed by
Giridhar Art Printers,
17 & 19, Badrian Street,
Madras - 600 001.

பதிப்புரை

கதிரியக்கம் என்ற இந் நூல், தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் **733** ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான **35** நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை **768** நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூகநல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக் கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்ட' த்தின் கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

மேலாண்மை இயக்குநர்
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
1.	கதிரியக்கம்	....	1
2.	கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட விதம்	....	5
3.	கண்டுணர்தலும் அளவிடுதலும்	....	20
4.	இயற்கைக் கதிரியக்கமும் கதிரியக்கமாற்றத்தின் விதிகளும்	....	80
5.	செயற்கை அணுக்கருச் சிதைவு	....	118
6,	செயற்கைக் கதிரியக்கம்	....	128
7.	ஆல்ஃபாத் துகள்களும் அவற்றின் சிதைவும்	....	151
8.	பீட்டாத் துகள்களும் அவற்றின் சிதைவும்	....	191
9.	காமாக் கதிர்கள்	....	237
10.	காமாச் சிதைவு	....	261
11.	கதிரியக்க வளி	....	276
12.	புவி, வளிமண்டலம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்கம்	....	295
13.	படித்தரப்படுத்தும் முறைகள்	....	306
14.	கதிரியக்கத்தின் பயன்கள்	....	330
	மேற்கோள் நூற்பட்டியல்	....	352
	கலைச்சொற்கள்	....	353

1. கதிரியக்கம்

'கதிரியக்கம்' (Radioactivity) என்ற சொல் முதன் முதலாக க்யூரி அம்மையாரால் (Madamme Curie) பயன் படுத்தப்பட்டது. அவர், அணு அமைப்பில் ஏற்படும் உரு மாற்றங்களின் போது வெளிப்படும் நிகழ்வுகளைக் குறிப்பிடக் 'கதிரியக்கம்' என்ற சொல்லைப் பயன்படுத்தினர்.

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில், பெக்கரல் (Becquerel) என்னும் விஞ்ஞானியால் 'இயற்கைக் கதிரியக்கம்' (Natural radioactivity) கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. எக்ஸ் கதிர் களுக்கும் ஒளிர் தன்மைக்கும் உள்ள தொடர்புகளை ஆராய்வதற் காகச் சோதனைகள் செய்யப்பட்டபோது, தற்செயலாகக் கதி ரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது! பெக்கரலின் கண்டுபிடிப்பைத் தொடர்ந்து, க்யூரி தம்பதியினராலும், மற்ற விஞ்ஞானிகளாலும் செய்யப்பட்ட ஆய்வுகளின் காரணமாக அடிப்படையான உண்மைகள் பல தெரிய வந்துள்ளன.

இருபதாம் நூற்றாண்டில் அணு இயற்பியல் அறிவில் நாம் பெற்றுள்ள முன்னேற்றத்திற்குச் சென்ற நூற்றாண்டின் இறுதியில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மூன்று அடிப்படைக் கண்டு பிடிப்புகள் (discoveries) முக்கியக் காரணங்களாகும். அவை யாவன :

(1) 1895ஆம் ஆண்டு ரான்ட்ஜென் (Rontgen) கண்டு பிடித்த எக்ஸ் கதிர்கள் (X-rays).

(2) 1896ஆம் ஆண்டு பெக்கரல் கண்டுபிடித்த கதிரியக்கம்.

(3) 1897ஆம் ஆண்டு ஜே. ஜே. தாம்சன், வீசெர்ட், காஃப்மன் (J. J. Thompson, Weichert and Kaufmann) ஆகிய மூவரும் எதிர்மின்னூட்டமுள்ள எலெக்ட்ரானின் தனித்த இயக்கத்திற்காகக் கொடுத்த நிரூபணம்.

இம் மூன்று கண்டுபிடிப்புகளும் இயற்பியலில் ஒரு புதிய சகாப்தத்தைத் தொடங்குபவையாக விளங்கின. மின்னோட்டம், தனிம அணுக்களின் அமைப்பு, தொடர்பு போன்ற இயற்பியலின் புதிர்களைப் புதிய முறையில் விடுவிக்கும் முறைகளை இவை கொடுத்தன. மேலும், இம் மூன்று கண்டுபிடிப்புகளும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பு கொண்டவை. உதாரணமாக, வாயுக்களில் எக்ஸ் கதிர்கள் அயனியாக்கத்தால் உண்டாக்கும் மின்கடத்தல் தன்மையை, கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்களால் வாயுக்களில் உண்டாக்கப்படும் மின் கடத்தும் தன்மையுடன் ஒப்பிட்டு, கதிரியக்கப் பொருள்களின் செயல்கள் ஒப்பிடப்படுகின்றன. ஜே. ஜே. தாம்சனால் எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம், அவற்றின் e/m மதிப்பு ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடிக்கக் கையாளப்பட்ட முறைகள் மேம்படுத்தப்பட்டு, காஃப்மனால் ரேடியத்திலிருந்து வெளிப்படும் அதிவேகமாகச் செல்லும் பீட்டாத் துகள்களின் நிறைகள், திசைவேகத்தைப் பொறுத்து மாறும் விதத்தை ஆராயக் கையாளப்பட்டன. அதே முறையைப் பின்பற்றி ரூதர்ஃபோர்டும் (Rutherford) ஆல்ஃபாத் துகள்களின் நிறை, திசைவேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிட்டார். எக்ஸ் கதிர்களின் பரிசோதனை முடிவுகளைக் கொண்டு, காமாக் கதிர்களின் ஊடுருவும் தன்மை ஆராயப்பட்டது; குவான்டம் கொள்கையைக்கொண்டு, காமாக் கதிர்களின் அலைநீளங்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

கதிரியக்கப் பொருள்களின் ஆய்வினால் நமக்கு அடிப்படையான சில உண்மைகள் தெரிந்தன. முக்கியமாக, அணுவின் அமைப்பைப்பற்றிய பல முடிவுகள் தெரிந்தன. யுரேனியம், தோரியம் போன்ற அணுஎடை அதிகமாக உள்ள தனிமங்களின் அணுக்கள் எப்போதும் நிலையான தன்மை பெற்றிருப்பதில்லை என்றும், அவை ஒரு வலிமைமிக்க, புது வகையான, சிறப்பியல்பு கொண்ட கதிர்வீச்சுகளை வெளிப்படுத்திப் புறத்தூண்டுதலற்ற உருமாற்றம் (spontaneous transformation) அடைகின்றன என்றும் தெரிந்தது. யுரேனியம், தோரியம் ஆகியவற்றின் அடுத்தடுத்த அமைப்புகளை ஆராயும்போது, தனித்தனி கதிரியக்கப் பண்புகள் கொண்ட சுமார் முப்பது தனிமங்கள் இருப்பது காணப்பட்டது. மிகச் சிறிய அளவில் உள்ள இந்தத் தனிமங்களின் வேதியியல் பண்புகளை ஆராய்ந்த போது, அவை ஒரே மாதிரியான இயற்பியல், வேதியியல் பண்புகளைக்கொண்டு, நிறையிலும் கதிரியக்கப் பண்பிலும் மட்டும் மாறுபட்ட ஐசடோப் (isotope) உள்ளது தெரிந்தது.

மேலும், துகள்களின் அமைப்பில் அணு என்பது ஓர் அடிப்படையான பகுதி என்பதைக் கதிரியக்கம் நிரூபித்தது. கதிரியக்கப் பொருள்களின் உருமாற்றங்களின்போது அதிக ஆற்றல் உள்ள ஆல்ஃபாத் துகள், அதிகத் திசைவேகம் உள்ள பீட்டாத் துகள், அதிக ஊடுருவும் தன்மை உள்ள காமாக் கதிர் ஆகிய புதிய வகைக் கதிர்வீச்சுகள் வெளிப்படுவது தெரியவந்தது. ஆல்ஃபாத் துகள் அணுவினுள் எளிதில் செல்வதையும், தனித்த ஆல்ஃபாத் துகள் தனித்த அணுவினால் தன் பாதையில் விலக்கம் (deflection) பெறுவதையும் கொண்டு, அணுவின் உள்ளே அணுக்கரு இருப்பது தெரியவந்தது. இதே போன்று, விரைவாகச் செல்லும் ஆல்ஃபாத் துகள் சாதாரணத் தனிமங்களின் அணுக்களைத் தாக்கி, அவற்றின் அணுக்கருக்களைச் சிதைவுறச் செய்து, வெகு விரைவாகச் செல்லும் புரோட்டான்களை (protons) வெளிப்படுத்துகின்றது; இதனால் அணுக்கருவின் அமைப்பு விளங்கியது. கதிரியக்கம் அணுக்கருவிலிருந்து நடைபெறுகிறது என்பதும் புலப்பட்டது.

1934ஆம் ஆண்டு ஜோலியட், க்யூரி ஆகியோரால் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட 'செயற்கைக் கதிரியக்கம்' (Artificial radioactivity) ஒரு புதுவகை ஆய்வைத் தொடக்கியது. இதன் காரணமாகப் பல் வேறு முறைகளில் நூற்றுக்கணக்கான செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் தயாரிக்கப்பட்டன. மேலும், அணு ஆற்றல் மட்டங்களைப்போல அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களும் இருப்பது தெரியவந்தது.

கதிரியக்கத்தை நேரான கொள்கைகளால் விளக்க முடிகிறது; துல்லியமாக அளக்கவும் முடிகிறது; கொள்கைகளும் பரிசோதனை முடிவுகளும் ஒத்து வருகின்றன. இயற்கைக் கதிரியக்கத்திற்குப் பொருந்தும் விதிகள் செயற்கைக் கதிரியக்கத்திற்கும் பொருந்தி வருகின்றன.

அணுக்கரு இயற்பியலில் (Nuclear Physics) கதிரியக்கம் மிக முக்கியமான இடத்தைப் பெறுகிறது. கதிரியக்கத்தைப் பற்றித் தெரிந்துகொள்ளாமல் அணுக்கரு இயற்பியலைப் புரிந்து கொள்ள இயலாது. அணுக்கரு எதிர்வினைகளின் காரணமாகப் பெறப்படும் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் தொழிற்றுறையிலும், மருத்துவத்துறையிலும் எண்ணற்ற பயன்களைத் தந்து வருகின்றன.

இயற்கைக் கதிரியக்கம், செயற்கைக் கதிரியக்கம் ஆகியவை கண்டுபிடிக்கப்பட்ட முறைபற்றியும், கதிரியக்கத்தின் காரணமாக வெளிப்படும் ஆல்ஃபாத் துகள், பீட்டாத் துகள், காமாக் கதிர் ஆகியன பற்றியும், அவற்றின் சிதைவு வீதம் போன்ற தன்மைகள் குறித்தும், கதிரியக்க உருமாற்றங்களின் கொள்கைகள், விதிகள் ஆகியன பற்றியும், கதிரியக்கத்தைக் கண்டுணரும் கருவிகள், அளவிடும் முறைகள் குறித்தும், கதிரியக்கத்தால் நமக்குக் கிடைக்கும் பயன்கள் பற்றியும் இந் நூலில் விரிவாகக் காண்போம்.

2. கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட விதம்

கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டதன் ஒரு நேர் விளைவாகும். எக்ஸ் கதிர்கள், மின்னிறக்கக் குழாயின் (discharge tube) கண்ணாடிச் சுவர்களின் மேல் எதிர்மின் கதிர்கள் (cathode rays) மோதுவதால் உண்டா கின்றன. ஆகவே, எக்ஸ் கதிர்கள் உண்டாக்கப்படும்போது ஒரு வலிமைமிக்க மின்னொளிர்வு (fluorescence) தொடர்ந்து உண்டாகிறது. அதனால் எக்ஸ் கதிர்கள் உண்டாக்கப்படும் போது ஒரு மின்னொளிர்தல் அவசியம் தொடரவேண்டும் என எதிர்பார்க்கப்பட்டது. ஆகவே, கண்ணுரு ! ஒளியில் (visible) நின்றொளிரும் (phosphorescence) பொருள்களிலிருந்து எக்ஸ் கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றனவா என ஆராயப்பட்டது.

இந்த ஆராய்ச்சியின்போது, அன்ட்வான் ஹென்றி பெக்கரல் (Antoine Henry Becquerel) என்பவர், யுரேனியம் மற்றும் பொட்டாசியம் ஆகியவற்றின் ஓர் இரட்டைச் சல்ஃபேட்டுடன் சோதனை செய்து வந்தார். இந்தச் சல்ஃபேட்டின் நின்றொளிர் தன்மை இவராலும் இவரது தந்தை யாரான அலெக்சாண்டர் எட்மண்ட் பெக்கரல் (Alexander Edmund Becquerel) என்பவராலும் ஏற்கெனவே ஆராயப்பட் டிருந்தது. 1896ஆம் ஆண்டு பிப்பிரவரித் திங்கள் 24ஆம் நாள் நடைபெற்ற பாரிஸ் விஞ்ஞானக் கழகத்தின் (Acadamie des Sciences a Paris) கூட்டத்தில், தாம் யுரேனியம்-பொட்டா சியம் ஆகியவற்றின் ஓர் இரட்டைச் சல்ஃபேட் படிகத்தை, மெல்லிய ஒளி புகும் தன்மையுள்ள பட்டை வடிவில் எடுத்துச் சோதனை நடத்தியதாகக் கூறினார். இப் பரிசோதனைகளில், சாதாரணச் சூரிய ஒளி புகுந்து பாதிக்காத அளவு தடிப்புள்ள ஒரு கறுப்புக் காகிதத்தினால் ஒரு புகைப்படத் தட்டை நன்றாகச் சுருட்டி மூடி, அக் கறுப்புக் காகிதத்திற்கு வெளியில் ஒளிர் உப்பை வைத்து, இந்த முழுக் கட்டையும் பல மணி நேர மாய்ச் சூரிய ஒளியில் வைத்தார். புகைப்படத் தட்டை உரு விளக்கப்படுத்தியபோது (develop), அதன்மேல் ஒளிர்

படிகத்தின் நிழல் வடிவம் கறுப்பாகக் காணப்பட்டது. மேலும், ஒரு நாணயத்தையோ, உருப் பொறிக்கப்பட்ட உலோகத் தட்டையோ உப்பிற்கும் புகைப்படத் தட்டிற்கும் இடையில் வைக்க, அதன் புற விளிம்பு புகைப்படத் தட்டில் காணப் பட்டது. உப்பைச் சூரிய ஒளியில் வைக்கும்போது வெப்பத் தால் ஏதாவது வாயு வெளிப்பட்டு அதனால் புகைப்படத் தட்டுப் பாதிக்கப்படக்கூடுமோ என்ற சாத்தியத்தையும் நீக்க, பெக்கரல் உப்பிற்கும் புகைப்படத் தட்டிற்கும் இடையில் ஒரு மெல்லிய கண்ணாடித் தகட்டை வைத்தார். அப்போதும் புகைப்படத் தட்டுப் பாதிக்கப்பட்டது. (ஆகவே, பெக்கரல் பரிசோதனை களில், உப்பிலிருந்து வெளிப்பட்ட குறைந்த ஊடுருவும் திறன் கொண்ட ஆல்ஃபாத் துகள்கள் கறுப்புக் காகிதத்தை ஊடுருவிப் புகைப்படத் தட்டை அடைந்திருக்க முடியா; ஆனால், பீட்டாக் கதிர்கள்தாம் புகைப்படத் தட்டைப் பாதித்திருக்க முடியும் என இப்போது நாம் ஊகிக்க முடிகிறது.)

ஒரு வாரத்திற்குப் பின்பு, அதாவது 1896ஆம் ஆண்டு மார்ச்சு 2ஆம் நாள் திங்கட்கிழமை நடந்த பாரிஸ் விஞ்ஞானக் கழகக் கூட்டத்தில் பெக்கரல் முக்கியமான ஒரு விளக்கத்தை வெளியிட்டார். சென்ற வாரம் பெக்கரல் பரிசோதனைகள் செய்தபோது, சூரிய ஒளி விட்டுவிட்டு வந்ததால், கறுப்புக் காகிதத்தால் மூடப்பட்ட புகைப்படத் தட்டை அதனுடன் வைக்கப்பட்டிருந்த யுரேனியம் உப்புப் படிகத்துடன் மேசை யின் இருண்ட செருகு அறையினுள் (drawer) வைத்தார். அடுத்த நாள்களில் சூரியன் வெளிப்படாததால், மார்ச்சு முதல் நாள் புகைப்படத்தட்டில் மிக மங்கலான உருவம் தென்படலாம் என நினைத்து, புகைப்படத் தட்டை உருவிளக்கப்படுத்திப் பார்த்தார். ஆனால், மாறாக உப்பின் நிழல் வடிவம் மிகத்தெளி வாகக் காணப்பட்டது. ஆகவே, புகைப்படத் தட்டின்மேல் பதிவான விளைவு, ஒளிர்தல் நிகழ்வை எந்த விதத்திலும் பொறுத்ததன்று என்பதை பெக்கரல் கண்டுபிடித்தார். ஏனெனில், ஒளிர்தல் நிகழ்வு ஒளி நின்ற நூறில் ஒரு செகண்டுக் குள்ளாக மறைந்துவிடும்.

இதன் பிறகு, 1896ஆம் ஆண்டு மே மாதம் 18ஆம் நாள், தாம் பரிசோதித்த எல்லா யுரேனியச் சேர்மங்களும் (compounds) ஒளிர்தல் தன்மை பெற்றிருந்தாலும் பெற்றிராவிட்டாலும், இந்த நிகழ்வை உண்டாக்கின என்பதை பெக்கரல் தெரிவித்தார். மேலும், யுரேனிய உலோகம் ஒரே தளப் பரப்பளவாக உள்ள போது அதன் சேர்மங்களைவிடப் பல மடங்கு செயல்திறமுடை

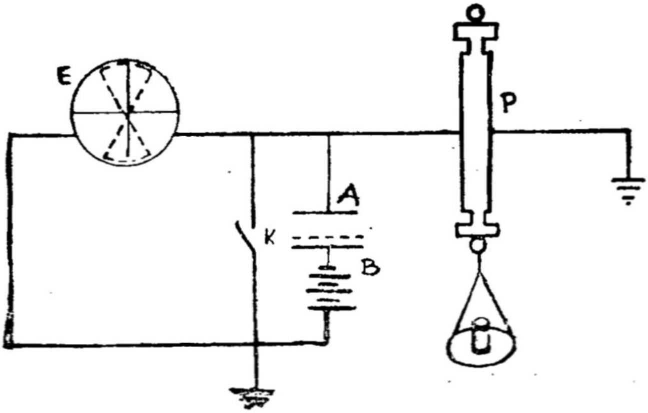
யதாக உள்ளதையும், புகைப்படத் தட்டிற்கும் கதிர்வீச்சுத் தோற்றுவாய்க்கும் (source) இடையில் அலுமினிய, செப்பு ஏடுகளையோ அல்லது மற்ற உட்கவரும் பொருள்களையோ வைத்தால், புகைப்படத் தட்டில் பதிவாகும் கதிர்வீச்சு வெகுவாகக் குறைவதையும் பெக்கரல் கண்டார். மேலும், இக் கதிர்வீச்சுகளும் எக்ஸ் கதிர்களைப் போன்று மின்னூட்டம் உள்ள பொருள்களை மின்னிறக்கம் பெறச் செய்கின்றன என்பதைப் பெக்கரல் காண்பித்தார். இந்தப் பண்பைக் கொண்டுதான் கதிரியக்கப் பொருள்களின் கதிர்வீச்சுகளைக் கண்டுணரும் பல முறைகள் கையாளப்படுகின்றன.

டூர்மலின் (tourmaline) படிகத்தைக்கொண்டு பெக்கரல் இக் கதிர்வீச்சை எதிரொளிப்பு, ஒளி விலகல், தள விளைவு ஆகிய நிகழ்வுகளுக்கு உள்ளாக்கினார். ஆனால், அக்காலத்தில் மற்ற விஞ்ஞானிகளால் இந்த விளைவுகளை உண்டாக்க முடியவில்லை. (ஆகவே, பெக்கரலின் எதிரொளிப்புப் பரிசோதனை முடிவுகள், கதிர்வீச்சின் பின்சிதறல் (back scattering) விளைவுகளால் உண்டாகியிருக்கலாம்.) முடிவாக, ஒரு சிறு யுரேனியத் துண்டைப் பல ஆண்டுகளாக இருட்டில் வைத்திருந்துவிட்டு பெக்கரல், அத் துண்டினால் புகைப்படத் தட்டில் உண்டாகும் விளைவுகள் சிறிதும் மாறாததைக் கண்டுபிடித்தார். ஆகவே, யுரேனியத்திலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சுகள் ஒளிர்தலை எந்த விதத்திலும் பொறுத்ததல்ல என்பதைக் காட்டினார்.

பெக்கரல், கதிரியக்கத்தைக் கண்டுபிடித்ததோடுமட்டுமன்றி யுரேனியத்திலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு, காற்றிலுள்ள மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு பொருளை மின்னிறக்கமுறச் செய்கிறது எனக் காண்பித்தது மற்றுமொரு முக்கியமான சாதனையாகும். இதன் அடிப்படையில் டிராகோமிர் ஹர்மு சேஸன் (Dragomir Hurmuzesan) என்பவர் அமைத்த எலெக்ட்ராஸ்கோப்பைப் (Electroscope) பயன்படுத்திக் கதிரியக்கச் செறிவை ஓரளவு அளவிட்டார். இம் முறை, புகைப்படப் பதிவு முறையில் காட்சிப் பதிவு எடுப்பதைவிட மிக விரைவானதும் எளிதானதும் ஆகும்.

கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இரண்டு ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு மேரி ஸ்க்லோடௌஸ்கா க்யூரி (Marie Sklodowska Curie) என்பவர், வேறு கதிரியக்கத் தனிமங்கள் இருக்கும் சாத்தியத்தைப் பல பொருள்களைக்கொண்டு ஆராய்ந்தார். இந்த ஆராய்ச்சியில், மின் அளவீட்டு முறைகளை அழுத்த-மின்-விளைவுடன் (piezo electric effect) கையாண்டார். (அழுத்த மின் விளைவு

ஜாக்ஸ் க்யூரி, பியரி க்யூரி என்ற இரு சகோதரர்களால் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இவர்களில் இரண்டாமவரை மேரி க்யூரி 1895–ல் மணந்தார்.) இந்த அம்மையார் பயன்படுத்திய கருவி படம் 2-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 2-1

பியரி க்யூரி, மேரி க்யூரி ஆகியோரால் கதிரியக்கத்தை ஆராயப் பயன்படுத்தப்பட்ட கருவியின் அமைப்பு

AB—இணைத்தட்டு மின்தேக்கி ; **P**—குவார்ட்ஸ் அழுத்த மின்படிகம் ; **E**—எலெக்ட்ராமீட்டர்.

இக் கருவியில் AB என்ற ஓர் இணைத்தட்டு மின்தேக்கி (parallel plate condenser) உள்ளது. பரிசோதிக்கப்பட வேண்டிய கதிரியக்கப் பொருள் பொடியாக்கப்பட்டு, மின்தேக்கி யின் அடித்தட்டின்மேல் ஓர் அடுக்காகத் தூவப்பட்டது. இந்த அடுக்கின் தடிப்பு 0.25 முதல் 6.0 மி.மீ. மின்தேக்கித் தட்டு களின் விட்டம் 8 செ.மீ. அவற்றுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் 3 செ.மீ. மின்தேக்கியின் அடித்தட்டான B ஒரு மின் அழுத்த மூலத்துடன் இணைக்கப்பட்டு, அதன் மறுமுனை நிலத்துடன் இணைக்கப்பட்டது. மின்தேக்கியின் இன்னொரு தட்டான A ஒரு குவாட்ரன்ட் எலெக்ட்ராமீட்டரின் (Quadrant electro-meter) ஒரு ஜோடித் தட்டுகளுடன் இணைக்கப்பட்டு, அழுத்த மின் படிகமான (piezo electric crystal) குவார்ட்சின் (quartz) ஒரு மின்வாயுடன் இணைக்கப்பட்டது. அழுத்த மின் படிகத்தின் இன்னொரு மின்வாய் பூமியுடன் இணைக்கப்பட்டது. கதிரியக்கப் பொருளிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சால் A, B தட்டுகளுக்கு இடையே உள்ள காற்று அயனியாக்கப்பட்டு மின்கடத்தும்

தன்மையை அடைந்தது. இதனால் மின்தேக்கியின் இரு தட்டு களுக்கு இடையே சுமார் 10^{-11} ஆம்பியர் அளவில் ஒரு மின்னோட் டம் நடைபெற்றது. ஆகவே, E என்ற குவாட்ரன்ட் எலெக்ட்ரா மீட்டரின் ஒரு ஜோடித் தட்டுகள் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு மின்னழுத்தம் பெற்றன. இதன் விளைவாக B எலெக்ட்ரா மீட்டரின் குறிமுள் விலக்கம் பெற்றது (deflected). இப் பொழுது அழுத்த மின் படிகத்தின்மேல் எடைகள் வைக்கப் பட்டன. இதனால் அழுத்த மின் படிகத்தில் ஓர் ஈடு செய்யும் மின்னழுத்தம் உண்டாகி, மின் தேக்கியின் மின் வாய்களுக் கிடையே உள்ள மின்னோட்டத்தைச் சரிக்கட்டிற்று (neutralised); இதனால் எலெக்ட்ராமீட்டரின் விலக்கம் சுழியாக்கப் பட்டது. இந் நிலையில் தட்டுகளுக்கு இடையே உள்ள காற்று கதிரியக்கத்தால் அயனியாக்கப்பட்டதால் மின் தேக்கியினூடே செல்லும் மின்னோட்டத்தின் அளவை, அழுத்த மின் படிகத்தின் மேல் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் கொடுக்கப்படும் எடை குறிப் பிட்டது. இந்த அமைப்பில் அளவீடு எதுவும் எடுப்பதற்கு முன்பாக K என்ற சாவியின் உதவியால், மின்தேக்கியின் அடித் தட்டான A-யும் அத்துடன் இணைக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரா மீட்டரின் ஒரு ஜோடித் தட்டுகளும் நிலத்துடன் இணைக்கப்பட வேண்டும். அடுத்த தட்டான B-க்குக் கொடுக்கப்படும் மின் னழுத்தத்தை அதிகப்படுத்துவதால், மின்தேக்கியின் வழியாகச் செல்லும் மின்னோட்டம் ஒரு வரம்பு அளவை அடைகிறது. இதற்குத் தெவிட்டிய மின்னோட்டம் (saturated current) என்று பெயர். இந்த மின்னோட்டத்தின் அளவு சுமாராக, தட்டு B-ன் மேலுள்ள கதிரியக்கப் பொருளின் கதிரியக்கச் செறிவைத் தோராயமாகக் குறிக்கிறது.

இந்த முறையைப் பயன்படுத்தி, யுரேனியத்தில் காணப் பட்ட விளைவு, வெவ்வேறு வேதியியல் சேர்மங்களிலும், பாறை களிலும், கனிமங்களிலும் (minerals) இருக்கின்றதா என மேரி க்யூரி ஆராய்ந்தார். இதன் முடிவாக, யுரேனியம் பெற் றிருக்கும் அளவிற்குத் தோரியம் என்ற தனிமம் மட்டுந்தான் கதிரியக்கத் தன்மை பெற்றிருக்கிறது என்பதைக் கண்டார். இதே முடிவை G.C. ஸ்மிட் (Schmidt) என்னும் விஞ்ஞானி தனி யாகக் கண்டுபிடித்துச் சில வாரங்களுக்கு முன்பு வெளி யிட்டிருந்தார். யுரேனியம், தோரியம் ஆகியவற்றின் சேர்மங் களில் அவை எந்த அளவிற்குச் சேர்மங்களில் உள்ளனவோ அந்த அளவுக்கு அச் சேர்மங்கள் கதிரியக்கம் பெற்றுள்ளன என்பதையும் மேரி க்யூரி கண்டுபிடித்தார். புற நிலைகளைப் பொறுத்தோ, வேதியியல் சிதைவைப் (chemical decomposition)

பொறுத்தோ கதிரியக்கம் மாறுததால், கதிரியக்கம் அணுவைப் பொறுத்த விளைவு என்று மேரி க்யூரி கண்டுபிடித்தார்.

மேலும், சில கனிமங்கள், முக்கியமாகப் பிட்ச் பிளெண்டி (pitch blende), சால்கொலைட் (chalcolite), ஆடொனைட் (autonite), கார்னோடைட் (carnotite) ஆகியவை யுரேனியத்தைவிட அதிகக் கதிரியக்கம் பெற்றிருப்பதாக மேடம் க்யூரி கண்டுபிடித்தார். இந்தக் கனிமங்கள் மேற்கூறிய சோதனையில் AB என்னும் மின்தேக்கியினூடே 10^{-11} ஆம்பியர் அலகில் பின்வரும் மின்னோட்டங்களைக் கொடுத்தன: யுரேனியம் 2·3; பிட்ச் பிளெண்டி 1·6 முதல் 8·3 வரை; சால்கொலைட் 5·2; ஆடொனைட் 2·7; கார்னோடைட் 6·2.

கதிரியக்கம் அணுவைப் பொறுத்த விளைவாக இருக்குமாறுல், யுரேனியம் அல்லது தோரியத்தில் சிறிதளவே பெற்றுள்ள அவற்றின் கனிமங்கள் யுரேனியத்தைவிட அதிகக் கதிரியக்கத்தை அவை எவ்வாறு பெற்றிருக்க முடியும்? இதைப் பரிசோதிக்க க்யூரி அம்மையார் தாமிரம், யுரேனியம் ஆகியவற்றின் இரட்டைப் பாஸ்ஃபேட்டாலான (double phosphate) செயற்கைச் சால்கொலைட் படிகங்களைத் தயாரித்தார். இது, அதன் தொகுப்புப் பொருள்கள் பெற்றிருந்த கதிரியக்கத்தை இயல்பாகப் பெற்றிருந்தது; யுரேனியத்தைவிட இரண்டரை மடங்கு குறைவாகப் பெற்றிருந்தது. ஆகவே, இந்தக் கனிமங்கள் யுரேனியத்தைவிடப் பல மடங்கு கதிரியக்கம் பெற்றுள்ள ஏதாவது தனிமங்களின் சிறு அளவைப் பெற்றிருக்க வேண்டும் என அவர் முடிவு செய்தார்.

ஆகவே, மேரி க்யூரியும் அவரது கணவர் பியரி க்யூரியும், கதிரியக்கத்தைத் தவிர வேறு எவ்விதப் பண்பும் இல்லாத இந்தக் கற்பிதமான (hypothetical) தனிமத்தைக் கண்டுபிடிக்க முயற்சிகளை மேற்கொண்டனர். அவர்கள் வேதியியல் விஞ்ஞானிகளாதலால், அவர்களுடைய பரிசோதனைகள் வேதியியல் அடிப்படையிலேயே அமைந்தன. ஆகவே, அவர்களுடைய ஆய்வுகளே, கதிரியக்க வேதியியல் நுணுக்கங்களைக் கையாண்ட முதல் பரிசோதனைகளாகும். அவர்கள் முதலில் ஒரு சேர்மத்தின் கதிரியக்கத்தைக் கண்டனர். பின்பு அச் சேர்மத்தை வேதியியல் சிதைவிற்கு ஆட்படுத்தி, அதிலிருந்து கிடைக்கும் விளைபொருள்களின் (products) கதிரியக்கத்தையும் கண்டுபிடித்தனர். இதே போல, கதிரியக்கப் பொருள்களை வேதியியல் மாற்றங்களுக்குட்படுத்தி அவற்றின் கதிரியக்கத் தன்மைகளைத் தொடர்ந்து ஆராய முடியும்.

இவற்றின் விளைவாக இரு புதிய கதிரியக்கத் தனிமங்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவற்றுள் ஒன்று, வேதியியல் பண்புகளின்படி பிஸ்மத்தின் (Bismuth) பண்புகளுக்கு மிக ஒத்த ஆனால், அதனுடன் பிரிந்துப் பெறக்கூடியது. இதற்கு மேடம் க்யூரியின் பிறந்த நாடான போலந்தின் (Poland) ஞாபகார்த்த மாகப் போலோனியம் (Polonium) எனப் பெயரிட்டனர். மற்றொன்று, வேதியியல் பண்புகளின்படி பிஸ்மத்துடன் பண் பொத்த ஆனால், அதனின்றும் தனித்துப் பிரிக்கக்கூடிய ரேடியம் (Radium) ஆகும். ரேடியத்தைக் க்யூரித் தம்பதியினர் G. பெர்மன்ட் (Bermont) என்ற இன்னொரு விஞ்ஞானியின் ஒத்துழைப்புடன் கண்டுபிடித்தனர். ரேடியம் கண்டுபிடிக்கப் பட்ட முறையை 1898-ல் அவர்கள் விளக்கியபோது, போலோனியம், ரேடியம் ஆகியவற்றை ஓர் ஒளிர் உப்புக்கருகில் வைத்தால், அவை பிரகாசமாகத் தாமாக ஒளிர்கின்றன என்று கூறினர். இந்த ஆற்றல், குறைவான ஒளிமூலம், ஆற்றல் மூலம் எதுவுமே இல்லாமல் செயற்படுவது கார்னோ தத்துவத்திற்கு (Carnot's Principle) எதிரிடையானது எனவும் கூறினர்.

இந் நிலையில், பிஸ்மத்திலிருந்து கதிரியக்கப் பண்பால் மட்டும் வேறுபட்டுள்ள இந்தப் பொருள்கள் புதிய தனிமங்கள் என்று நிலைநிறுத்தப்பட வேண்டியதாயின. இது போலோனி யத்தைப் பொறுத்தவரையில் மிகவும் கடினமாயிருந்தது.

பேரியம் குளோரைடைவிடக் (Barium chloride) குறைந்த கரைசல் தன்மை பெற்ற ரேடியம் குளோரைடைத் (radium chloride) திருப்பித்திருப்பி பின்னப் படிகமாக்கல் (fractional crystallisation) முறைப்படி செறிவு பெறும்படி செய்து ரேடியத்தின் பண்புகளைக் காண முடிந்தது. இப்படிச் செறி வுற்ற ரேடியம் குளோரைடின் நிறமாலையில், ரேடியத்தின் வெளியீட்டு வரிகள் (emission lines) E. டெமார்கே (Demarcay) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. முதன் முதலில் காணப் பட்டது புற ஊதாவில் 3814° A அலைநீளம் கொண்ட ரேடியம் வெளியீட்டு வரியாகும்.

இறுதியாக, ஆஸ்ட்ரிய அரசிடமிருந்து அன்பளிப்பாகக் கிடைத்த பிட்ச் பிளெண்டியிலிருந்து, A. டிபியர்ன் (Debierne) என்னும் விஞ்ஞானியின் ஒத்துழைப்புடன், மேடம் க்யூரி பேரி யம், ரேடியம் குளோரைடு ஆகியவற்றைப் பிரித்து எடுத்தார். இதன் கதிரியக்கம், உலோக யுரேனியத்தினுடையதைப் போல அறுபது மடங்கு இருந்தது. பேரியம் சிறிய அளவில் மட்டும்

கலந்துள்ளதாக டெமார்கேயால் நிறமாலையியல்படி ஆராயப் பட்ட 0·1 கிராம் எடையுள்ள ரேடியம் குளோரைடைக் கொண்டு சோதனை செய்து, ரேடியத்தின் அணு எடை 225 என்று மேடம் க்யூரி கணக்கிட்டார். (1936-ல் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இதன் அளவு 226·05 ஆகும்.) 1903ஆம் ஆண்டுக்கான இயற்பியல் நோபல் பரிசு பியரி க்யூரி, மேரி க்யூரி, பெக்கரல் ஆகிய மூவருக்கும் கொடுக்கப்பட்டது. மறுபடியும் 1911ஆம் ஆண்டு, ரேடியத்தைப் பிரித்து எடுத்ததற்காக மேரி க்யூரிக்கு வேதியியல் நோபல் பரிசு கொடுக்கப்பட்டது. தாம் கண்டுபிடித்த ரேடியத்தின் கதிர்வீச்சால், நீண்ட நாள் எவ்விதப் பாதுகாப்புமின்றிப் பணிபுரிந்ததன் காரணமாக, 1934–ல் மேரி க்யூரி காலமடைந்தார்.

அதன் பிறகு, இயற்கையாகவே உள்ள கதிரியக்கத் தனிமங்கள் பல கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அத் தனிமங்களுக்கு இடையேயுள்ள தொடர்புகள் எர்னஸ்ட் ரூதர்ஃபோர்டு, ஃபிரெடரிக் சாடி (Ernest Rutherford, Fredrick Soddy) ஆகியோர் செய்த பரிசோதனைகள் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டன.

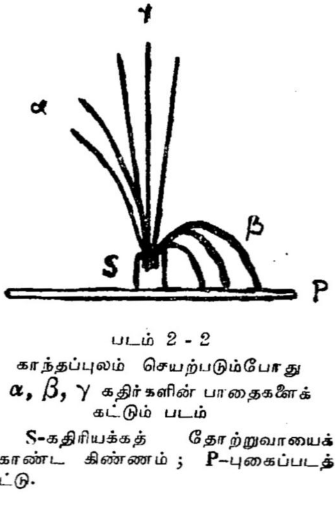
கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதும், போலோனியம், ரேடியம் ஆகியவை காணப்பட்டதும் பெக்கரல், க்யூரி தம்பதிகள் ஆகியோரின் உன்னத முயற்சியாலே என்றாலும், அடுத்த நாற்பது ஆண்டுகளில் ரூதர்ஃபோர்டும் அவருடன் இணைந்து பணியாற்றியவர்களின் பரிசோதனைகளுமே மிக முக்கியமானவையாய் இருந்தன. 1904ஆம் ஆண்டு மட்டும், ரூதர்ஃபோர்டு, சாடி ஆகியோரின் கூட்டு ஆராய்ச்சிகளின் பலனாகச் சுமார் இருபது கதிரியக்கத் தனிமங்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அப்போது தான் ரேடியத்திலிருந்து ஒரு வாயு வெளிப்படுவதை பியரி க்யூரியும், தோரியத்திலிருந்து அதே போல வாயு வெளிப் படுவதை ரூதர்ஃபோர்டு - சாடி ஆகியோரும் கண்டுபிடித்தனர். இந்த வாயுக்கள் ரேடான் (Radon), தோரான் (Thoran) எனப் பிறகு வழங்கப்பட்டன.

மேலும், கதிரியக்கத்தில் மூன்று குடும்பங்கள் (அல்லது வரிசைகள்) உள்ளன என்பதும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. மூன்றாவது வரிசையின் தலைமூலமான ஆக்டினியம் (Actinium) 1899ஆம் ஆண்டு டிபியர்னாலும், 1901ஆம் ஆண்டு F. கைசல் (Geisel) என்பவராலும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. யுரேனியத்தி லிருந்து வரும் கதிர்வீச்சுகள், அவற்றின் ஊடுருவும் ஆற்றலைப் பரிசோதனையின் மூலம் அளவிட்டு, இருவகைக் கதிர்வீச்சுகள்

உள்ளன என்பதை ரூதர்ஃபோர்டு கண்டுபிடித்தார். அவை, (1) காற்றில் மட்டும் சில செ.மீ. செல்லக்கூடிய ஆல்ஃபாக் கதிர்கள்; (2) பல மி.மீ. அலுமினியத்தை ஊடுருவும் அதிக ஆற்றலுள்ள பீட்டாக் கதிர்கள். பின்பு, மிக மிக அதிகமாய் ஊடுருவும் ஆற்றல் பெற்ற மூன்றுவது வகைக் கதிர்வீச்சு ரேடியத்திலிருந்து வருவதை P. வில்லியர்ட் (Villiard) கண்டு பிடித்தார். இக் கதிர்களுக்குக் காமாக் கதிர்கள் எனப் பெயரிடப் பட்டது.

பீட்டாக் கதிர்

1899ஆம் ஆண்டிலேயே கைசல், மேயர், சுவைட்லர் (Giesel, Meyer, Schweidler) ஆகியோரும் பெக்கரல்லும் எதிர்மின் கதிர்கள் காந்தப்புலத்தில் எப்படி விலக்கமடைகின்றனவோ, அதே போன்று பீட்டாக் கதிர்களும் விலக்கமடைகின்றன என்று காண்பித்தனர். படம் 2-2-ல் காட்டியுள்ளது போன்று பீட்டாக் கதிர்களை 180° விலக்கி P என்ற புகைப்படத் தட்டின் மேல் விழச் செய்து, பீட்டாக் கதிர்களே நிறமாலையின் ஆற்றல் தொடர்ச்சியாக மாறுகின்றன என்று பெக்கரல் காண்பித்தார். மேலும், S என்ற தோற்று வாய்க்கு அருகில் புகைப்படத் தட்டை அடையும் பீட்டாக் கதிர்கள் எளிதில் உட்கவரப் படுகின்றன என்பதையும் காண் பித்தார். புகைப்படத் தட்டின் மேல் கண்ணாடி, உலோகம், காகிதம் போன்ற உட்கவரும் பொருள்களை வைத்து இதை நிரூபித்தார். எதிர்மின் கதிர் களைப் போன்றே பீட்டாக் கதிர் களையும் ஒரு மின்புலத்தில் விலக்க முடியும் என்பதை பெக்கரல், E. டார்ன் (Dorn) ஆகியோர் காண்பித்தனர். அதே காலத்தில், க்யூரி தம்பதியினர் பீட்டாக் கதிர்களை ஒரு ஃபேரடே சேகரிப்பானில் (Faraday cylinder) சேகரித்து, பீட்டாக் கதிர்கள் எதிர்மின்னூட்டம் பெற்றுள்ளன என்பதை உறுதிப்படுத்தினர்.



படம் 2 - 2
காந்தப்புலம் செயற்படும்போது α, β, γ கதிர்களின் பாதைகளைக் காட்டும் படம்
S–கதிரியக்கத் தோற்றுவாயைக் கொண்ட கிண்ணம்; P–புகைப்படத் தட்டு.

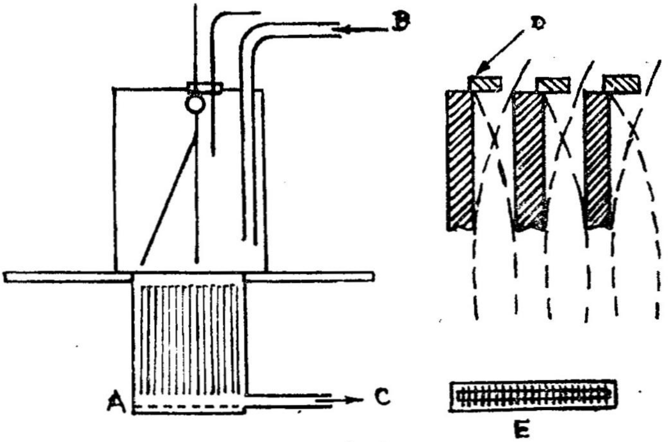
காந்தப்புலம், மின்புலம் ஆகியவற்றில் பீட்டாக் கதிர்கள் பெறும் விலக்கங்களைப் பார்த்து, பீட்டாக் கதிர்களுக்கு

$1 \cdot 6 \times 10^{10}$ செ.மீ./செகண்டு திசைவேகமும், மின்னூட்ட நிறை விகிதமான $e/m = 10^7$ எ.மி.வோ/கிராம் (emv/gm) உள்ளதாகவும், (அதாவது, எதிர்மின் கதிர்களின் அந்தந்த அளவுகளுக்கு ஒத்துள்ளதாகவும்) பெக்கரல் காண்பித்தார். மேலும், பீட்டாக் கதிர்களின் திசைவேகம் $2 \cdot 36 \times 10^{10}$-லிருந்து $2 \cdot 83 \times 10^{10}$ செ.மீ./செகண்டு என்று மாறும்போது சார்புக் கொள்கைப் படி (Theory of relativity) e/m, $1 \cdot 31 \times 10^7$-லிருந்து $0 \cdot 63 \times 10^7$ எ.மி.வோ. / கிராம் வரை மாறுகிறது என்பதை 1900ஆம் ஆண்டிலேயே W. காஃப்மன் (Kaufmann) காண்பித்தார். 1897-ல் J. J. தாம்சன் (Thompson) எதிர்மின் கதிர்களுக்கான இந்த அளவுகளை 3×10^9 செ.மீ./செகண்டு என்றும், $0 \cdot 7 \times 10^7$ எ.மி.வோ./கிராம் என்றும் கணக்கிட்டிருந்தார். ஆகவே, எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றுள்ள எதிர்மின் கதிர்களின் இயல்புகளையே பீட்டாக் கதிர்களும் பெற்றுள்ளன என்று தீர்மானிக்கப்பட்டது. மேலும், அவை துகள் உருவில் (corpuscular form) உள்ளதாகத் தாம்சன் கூறினார்.

ஆல்ஃபாக் கதிர்

பீட்டாக் கதிர்களைப் போலல்லாமல், ஆல்ஃபாக் கதிர்களும் காமாக் கதிர்களும் அவற்றின் வகையறிந்து விளக்கப்படுவதி லிருந்து பல ஆண்டுகள் திறம்படத் தப்பித்துக்கொண்டிருந் தன. தொடக்கத்தில் அவை இரண்டும் மின்காந்தப் புலத்தினுல் பாதிக்கப்படுவதில்லை எனக் கருதப்பட்டது. ஆனுல், ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் வலிமைமிக்க மின் புலத்திலும் காந்தப் புலத்திலும் விளக்கமடைகின்றன என்று 1902ஆம் ஆண்டு ரூதர்ஃபோர்டு காண்பித்தார். ஒரு குறிப்பிட்ட வலிமையுள்ள புலத்திற்கு, பீட்டாக் கதிர்களின் விலக்கத்தைவிட ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் விலக்கம் மிகமிகக் குறைவு; விலக்கம் எதிர்த்திசையில் உள்ளது; இதனுல் ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் களால் ஆனவை என எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டன. மேலும், 1902ஆம் ஆண்டு, மின்புலம், காந்தப்புலம் ஆகியவற்றில் ரேடியத் தில் ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் பெற்ற விலக்கங்களை அளவிட்டு, அவை $2 \cdot 5 \times 10^9$ செ.மீ. / செகண்டு திசைவேகமும், 6000 எ.மி.வோ./ கிராம் e/m அளவும் பெற்றிருப்பதாக ரூதர்ஃபோர்டு கணக் கிட்டார். ரூதர்ஃபோர்டு பயன்படுத்திய கருவியின் அமைப்பு படம் 2-3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. 1903ஆம் ஆண்டு, ரேடியம் புரோமைடு (Radium Bromide) தோற்றுவாயைப் பயன்படுத்தி, புகைப்படத் தட்டு முறையில் ரேடியத்தின் ஆல்ஃபாக் கதிர் களின் திசைவேகம் $1 \cdot 65 \times 10^9$ செ.மீ./செகண்டு எனவும்,

அவற்றின் e/m = 6400 எ.மி.வோ./கிராம் எனவும் டி கூட்ரஸ் (Des Coudres) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். பீட்டாக் கதிர்களுக்குத் தொடர்ச்சியாகத் திசைவேகம் மாறுவதுபோலல்லாமல், ஒரு குறிப்பிட்ட கதிரியக்கப் பொருளிலிருந்து வெளிவரும் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் குறிப்பிட்ட திசைவேகங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஆகவே, அவற்றின் ஆற்றல் ஒருபடித்தானது (homogeneous) ஆகும்.



படம் 2—3

ருதர்ஃபோர்டு பயன்படுத்திய அமைப்பு

ரேடியத்திலிருந்து வெளிப்படும் α கதிர்கள் காந்தப்புலத்தாலும் மின் புலத்தாலும் பெறும் விலகல்களை ஆராய உதவுகிறது.

A-ரேடியம் தயாரிப்பு; B-ஹைட்ரஜன் நுழையும் வழி; C-ஹைட்ரஜன் வெளியேறும் வழி; D-வளைவின் திசையை அறிய உதவும் அமைப்பு; E–காப்பிடப்பட்ட உலோகத் தட்டுகள் அடுக்கப்படும் விதம்.

1895ஆம் ஆண்டு ராம்சே (W. Ramsay) என்பவரால் நிலத்தின்மேல் ஹீலியம் (helium) இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஹீலியத்தின் நிறமாலைக் கோடு, சூரிய நிறமாலையில் லாக்கியர் (Zockyear) என்பவரால் காணப்பட்டது. 1903ஆம் ஆண்டு ராம்சே, சாடி ஆகிய இருவரும் ரேடியத்திலிருந்து ஹீலியம் உண்டாக்கப்படுகிறது என்பதைக் காண்பித்தார்கள். யுரேனியம், ரேடியம் உள்ள கனிமங்களில் ஹீலியம் தவறாமல் இருப்பது, அக் கனிமங்களின் கதிரியக்கத் தன்மையுடன் இணைந்ததுதான் என்பதை எவரும் ஆராயலாம் என ருதர்ஃபோர்டும் சாடியும் முன்பே கூறியிருந்தனர். ராம்சே, சாடி பரிசோதனைகளில் ஒரு வெற்றிட அமைப்பில் ஹீலியம் நிறமாலை உண்டாக்க

உதவும் மின்னிறக்கக் குழாய் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இக் குழாய்க்கு ரேடியம் வெளியீட்டு வாயுவை, கரைசலாக உள்ள ரேடியம் புரோமைடு வழங்கிற்று. தொடக்கத்தில் ரேடியம் வெளியிடும் வாயுவைத் திரவக் காற்றினால் திரவமாக்கிய போது ஹீலியம் நிறமாலை எதுவும் தென்படவில்லை. ஆனால், அமைப்பை நான்கு நாள்கள் அப்படியே விட்டுவைத்துப் பரிசோதனையை மீண்டும் செய்தபோது ஹீலியம் நிறமாலையின் சிறப்பியல்பு வரிகள் தென்பட்டன. இப் பரிசோதனையில் பயன் படுத்தப்படும் திரவக்காற்று இருட்டில் மிகப் பிரகாசமாக ஒளிர்கிறது. திரவக்காற்றை அகற்றிவிட்டால், வெளிப்படும் வாயு நுண்குழாய் வழியாகப் பெருக்கமடைவதை பாஸ்ஃபரஸ் பென்டாக்சைடு (phosphorous pentoxide) அடைப்புப்பொறி தாமதப்படுத்துகிறது. இதனால் வெளிப்படும் வாயு அகலமான கண்ணாடிப் பொறிகளுக்குள் விரைந்தோடுகிறது.

1906ஆம் ஆண்டு, ரேடியம்-C, ரேடியம்-F, ஆக்டினியம் ஆகியவற்றிலிருந்து கிடைத்த ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் திசைவேகம், மின்னூட்ட நிறைவிகிதம் (e/m) ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடிக்க மிக நுணுக்கமான பரிசோதனை முறைகளை ரூதர்ஃபோர்டு, கலிபோர்னியாவிலுள்ள பெர்க்கிலியிலிருந்து (Berkeley) விளக்கினார். ரேடியம்-C-யிலிருந்து பெறப்பட்ட ஆல்ஃபாத் துகள் களின் $e/m = 5.07 \times 10^3$ எ.மி.வோ./கிராம் என்று ரூதர்ஃபோர்டு கண்டுபிடித்தார். ரேடியம்-F, ஆக்டினியம் ஆகியவற்றின் பரிசோதனைகள் சரிவர அமையவில்லை. ஆனால், அவற்றிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட ஆல்ஃபாத் துகள்களின் e/m அளவுகள், ரேடியம்-C-யின் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் e/m அளவுகளை ஒத்திருந்ததால் எல்லாம் சமம் என்று ரூதர்ஃபோர்டு முடிவு செய்தார். அதே சமயத்தில், தோரியத்திலிருந்து கிடைக்கும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் e/m அளவை அவர் O. ஹான் (Hahn) என்பவருடன் கூட்டாகக் கண்டுபிடித்தார். அந்த அளவும் இதனுடன் ஒத்திருந்தது.

ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் எல்லாத் துகள்களும் ஒரே அளவு மின்னூட்டம் பெற்றவையாகக் கருதப்படுவதால், எல்லா ஆல்ஃபாத் துகள்களும் முழுதொத்த நிறையைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். மேலும், நீர் மின்பகுப்பு (electrolysis) மூலம் கிடைத்த ஹைட்ரஜன் அயனியின் $e/m = 9{\cdot}63 \times 10^3$ எ.மி.வோ./கிராம் ஆகும். ஆல்ஃபாத் துகளின் மேலுள்ள மின்னூட்டம் ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டத்திற்குச் சமம் எனக் கருதினால், ஆல்ஃபாத் துகளின் நிறை ஹைட்ரஜன்

அணுவின் நிறையைப் போன்று இரு மடங்காகும். (அல்லது ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறின் நிறைக்குச் சமமாகும்.) ஆல்ஃபாத் துகளின் மேலுள்ள மின்னூட்டம் ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டத்தைப் போல இரு மடங்கு என்றால், ஆல்ஃபாத் துகளின் நிறை ஹீலியம் அணுவின் நிறைக்குச் சமமாக இருக்கும்.

ராம்சே, சாடி ஆகியோரின் பரிசோதனை முடிவுகளைக் கொண்டும், யுரேனியம், ரேடியம் கனிமங்களுடன் ஹீலியத்தின் இணைப்புப்பற்றித் தாம் செய்த பரிசோதனை முடிவுகளைக் கொண்டும் ரூதர்ஃபோர்டு, மேலே கூறப்பட்ட இரண்டாவது கருத்தே (அதாவது, ஆல்ஃபாத் துகள் ஒரு ஹீலியம் அணுவே; ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு அல்ல என்ற கருத்தே) சரியானது எனக் கருதினார். 1908-ம் ஆண்டு ரேடியம்-C-யிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் வெளிப்படும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் எண்ணிக்கையையும் அவற்றின் மின்னூட்டத்தையும் அளவிட்டு, இவை ஒரு கிராம் ரேடியத்திற்கு என்ன அளவாக இருக்கும் என ரூதர்ஃபோர்டு, கைகர் ஆகிய இருவரும் கணக்கிட்டனர். இதன் முடிவுகள் இரண்டாவது கருத்திற்குச் சாதகமாக அமைந்தன. இந்தப் பரிசோதனையில்தான் கைகர்-எண்ணி (Geiger counter) முதன்முதலில், ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் வெளிப்படும் ஆல்ஃபாத் துகள்களைக் கணக்கிடப் பயன்படுத்தப்பட்டது. ஒரு கிராம் ரேடியத்திலிருந்து ஒரு செகண்டு நேரத்தில் $3 \cdot 4 \times 10^{19}$ எண்ணிக்கையுள்ள ஆல்ஃபாத் துகள்கள் வெளிப்படுவதாகவும், ஆல்பாத் துகளின் மின்னூட்டம் $9 \cdot 3 \times 10^{10}$ e.s.u. என்றும் ரூதர்ஃபோர்டு, கைகர் ஆகியோர் கணக்கிட்டனர்.

அக் காலத்தில் ஒத்துக்கொள்ளப்பட்ட எலெக்ட்ரானிய மின்னூட்ட மதிப்பு (electronic charge) J. J. தாம்சன், H. A. வில்சன், R. A. மில்லிக்கன் – L. பெகிமான் (Begeman) ஆகியோர் கண்டுபிடித்த அளவுகளாகும். அவை முறையே: $3 \cdot 4 \times 10^{-10}$, $3 \cdot 1 \times 10^{-10}$, $4 \cdot 06 \times 10^{-10}$ e. s. u. ஆகும். ஆல்ஃபாத் துகளின் மின்னூட்டம் e-ன் முழு பெருக்கற்பலனாக இருந்தால் அது 2e அல்லது 3eஎன்று இருக்கவேண்டும் என ரூதர்ஃபோர்டும் கைகரும் சுட்டிக்காட்டினர். மேலும், அப்போது கருதப்பட்ட e-ன் மதிப்பு மிகக்குறைவானது என்று அவர்கள் கூறி, ஆல்ஃபாத் துகளின் மின்னூட்டம் 2e தான் என்று முடிவாகக் கூறினர். இதன் அடிப்படையில், கதிரியக்க அளவீட்டுப் பரிசோதனைகளில் கிடைத்த ஆல்ஃபாத் துகளின் மின்னூட்ட

அளவுகளிலிருந்து அவர்கள் e-ன் மதிப்பு $4 \cdot 65 \times 10^{-10}$ e. s. u. எனக் கூறினர். (தற்போது ஒத்துக்கொள்ளப்பட்ட e-ன் மதிப்பான $4 \cdot 8 \times 10^{-10}$ e. s. u. அந்த மதிப்புடன் மிகவும் ஒத்துள்ளது.) ஆல்ஃபாத் துகளின் மின்னூட்டம் ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டத்தைப் போன்று இருமடங்கு என்றும், 1906-ல் ஒத்துக்கொள்ளப்பட்ட ஒரு ஃபேரடேயின் மதிப்பு $9 \cdot 63 \times 10^{3}$ e. m. v./கிராம் என்றும் வைத்துக்கொண்டு ஆல்ஃபாத் துகளின் அணு எடை (atomic weight) 3·84 என ரூதர்ஃபோர்டு-கைகர் கணக்கிட்டனர். அப்போது ஹீலியத்தின் அணு எடை 3·96 என ஒத்துக்கொள்ளப்பட்டிருந்ததால், "ஆல்ஃபாத் துகளின் e/n-ஐக் கண்டுபிடிப்பதில் ஏற்படும் பரிசோதனைப் பிழைகளைக் கருதி, நாம் ஓர் ஆல்ஃபாத் துகளை ஒரு ஹீலியம் அணு என முடிவு செய்யலாம்; அல்லது துல்லியமாக, ஓர் ஆல்ஃபாத் துகளின் நேர் மின்னூட்டம் ஈடு செய்யப்படும்போது அது ஒரு ஹீலியம் அணு ஆகிறது" என ரூதர்ஃபோர்டும் கைகரும் அறுதியாகக் கூறினர்.

ஆல்ஃபாத் துகளின் தனித்துவத்தைத் தேடும் பரிசோதனைகளின் முடிவான சான்று, 1909-ம் ஆண்டு ரூதர்ஃபோர்டுடன் ராயிட்ஸ் (T. Royds) என்பவர் செய்த பரிசோதனையில் கிடைத்தது. இச் சோதனையில், ஒரு புற வெற்றிட மின்னிறக்கக் குழாயினுள், பொது மையமாக (concentric) உள்ள மெல்லிய சுவருடைய கண்ணாடிக் குழாயினுள் ரேடியத்தினின்றும் வெளிப்படும் வாயு எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டது. உள் கண்ணாடிக் குழாயின் சுவரின் தடிப்பு நூறில் ஒரு மி.மீ. ஆகும். இந்தத் தடிப்பு காற்றில் ஆல்ஃபாத் துகளின் இயங்கெல்லையான (range) 2 செ.மீ.-க்குச் சமமானது. காற்றில் ரேடானின் இயங்கெல்லை 4 செ.மீ.; ரேடியம் A-யின் இயங்கெல்லை 4·6 செ.மீ. ஆகும். வெற்றிடக் குழாய் முழு வெற்றிடமாக்கப்பட்டது. மெல்லிய சுவருடைய கண்ணாடிக் குழாயினுள் கதிரியக்க வாயு விடப்பட்டு, இரண்டு நாள்கள் கழித்து மின்னிறக்கக் குழாயைக் கிளர்ச்சியூட்டினால் (excited) ஹீலியம் நிறமாலையின் மஞ்சள் வரி காணப்பட்டது. மேலும் நான்கு நாள்கள் சென்றால், ஹீலியம் நிறமாலையின் வலிமை மிக்க எல்லா வரிகளும் தென்பட்டன. பரிசோதனைகளில், மெல்லிய சுவருடைய உள் கண்ணாடிக் குழாயில் மட்டும் ஹீலியம் விடப்பட்டு அது வெளி மின்னிறக்கக் குழாயைச் சிறிதும் ஊடுருவாத வண்ணம் கட்டுப்படுத்தப்பட்டது. ஆகவே, வெளிப்புற மின்னிறக்கக் குழாயில் ஹீலிய நிறமாலையை உண்டாக்கிய ஹீலியத்தின் தோற்றுவாய்,

ரேடிய வெளியீட்டு வாயுவின் சிதைவினால் உண்டான ஆல்ஃபாத் துகள்களே என முடிவு செய்யப்பட்டது.

காமாக் கதிர்கள்

காமாக் கதிர்கள் தங்களின் தன்மை விளக்கப்படுவதிலிருந்து இன்னும் பல ஆண்டுகளுக்குத் தப்பித்துக்கொண்டிருந்தன. அவற்றைக் காந்தப் புலத்தினாலோ, மின் புலத்தினாலோ விளக்கமடையச் செய்ய முடியவில்லை. கதிரியக்கக் கதிர்வீச்சுகளில் அவைதாம் அதிகமான ஊடுருவும் தன்மை பெற்றிருந்தன. 1903-ம் ஆண்டு, இந்த விலக்கமுறாத கதிர்கள் எக்ஸ் கதிர்களுடன் ஒத்த பல சிறப்புப் பண்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன என்று பெக்கரல் கூறினார். ரூதர்ஃபோர்டு, C. G. பார்க்லா (Barkla) ஆகியோரும் இவை எக்ஸ் கதிர்களை ஒத்தவை எனக் கருதினர். ஆனால், F. பாஸ்சென், W. H. பிராக் (Paschen, Bragg) ஆகியோர், இவை மிகமிக அதிக திசைவேகத்துடன் செல்லும் துகள்கள் எனக் கருதினர்.

1896-ம் ஆண்டிலேயே, எக்ஸ் கதிர்களை ஒரு பிளவில் (slit), விளிம்பு விளைவுறச் (diffraction) செய்யலாம் என L. ஃபோம் (Fomm) காண்பித்தார். ஆனால், இப் பரிசோதனையைத் திருப்பிச் செய்ய முடியவில்லை. 1912ஆம் ஆண்டு M. வாம் லேன் (Vom Lane) என்பவர் பிரெடரிச், நிப்பிங் (Frederich, Knipping) ஆகியோருடன் செய்த பரிசோதனைகளாலும், 1913ஆம் ஆண்டு W. H. பிராக், W. L. பிராக் ஆகியோர் செய்த பரிசோதனைகளாலுந்தான் எக்ஸ் கதிர்கள் ஒளியைப் போன்று ஆனால், குறைந்த அலைநீளம் கொண்ட மின்காந்த அலைகள் என நிரூபிக்கப்பட்டது. 1914ஆம் ஆண்டு ஆண்ட்ரேடு (Andrade) என்பவருடன் ரூதர்ஃபோர்டு, காமாக் கதிர்களைக்கொண்டு பாறை உப்புப் படிகத்தில் விளிம்பு விளைவுப் பரிசோதனைகளைச் செய்து, காமாக் கதிர்கள் பண்புகளில் எக்ஸ் கதிர்களை ஒத்தவை எனக் காண்பித்ததோடு, ரேடியம்-B, ரேடியம்-C ஆகியவை வெளிப்படுத்திய காமாக் கதிர்களின் அலைநீளங்களையும் அளவிட்டார்.

ஆகவே, எலெக்ட்ரான் ஒரு துகளல்ல; ஆனால் ஓர் அலை என்று முதலில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருந்தால், அதாவது, J. J. தாம்சனின் பரிசோதனைக்கு முன்பாக C. J. டேவிசன் (Davisson), L. H. ஜெர்மர் (Germer), G. P. தாம்சன் ஆகியோரின் பரிசோதனைகள் நடத்தப்பட்டிருந்தால், அதன் விளைவுகள் வேறு விதமாத இருந்திருக்கும்.

3. கண்டுணர்தலும் அளவிடுதலும்

"கதிரியக்கத் தன்மை வாய்ந்த பொருள்களிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்கள், வாயுக்களின்மீது படும்போது அந்த வாயுக்கள் மின்கடத்திகளாக மாறுகின்றன" என்ற பெக்கரலின் கண்டுபிடிப்பின் அடிப்படையில் ஆல்ஃபா, பீட்டாத் துகள்கள் மற்றும் காமாக் கதிர் ஃபோட்டான்களையும் பகுத்தறிவதற்கும் அளவிடுவதற்குமான கருவிகள் கண்டுபிடிக்கப் பட்டுள்ளன. இந்த உண்மையைப் பயன்படுத்தி க்யூரி அம்மையாரும், யுரேனியம் அடங்கிய பல்வேறு பொருள்களின் கதிரியக்கங்களை ஒப்பிட்டார். இப் பரிசோதனைகளுக்கான அடிப்படை உண்மைகள் J. S. டவுன்சென்டால் (Townsend) இங்கிலாந்திலுள்ள J. J. தாம்சனின் சோதனைச்சாலையில், பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் வகுக்கப்பட்டன. எனினும், இவற்றின் உண்மையான பயன் அண்மைக் காலத்தில்தான் உணரப்பட்டு, பல்வேறு கண்டுணர் கருவிகளும் (detectors), எண்ணிகளும் (counters) உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இயற்கைக் கதிரியக்கத்தைப் பற்றி ஆராய உருவாக்கப்பட்ட பல கருவிகளும், செயற்கைத் தனிம மாற்ற ஆய்வுக்கு ஏற்ற வகையில் செம்மைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

அயனியாக்கம்

ஆல்ஃபா அல்லது பீட்டாத் துகள் போன்ற மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் வேகமாகச் செல்லும்போது சுற்றிலுமுள்ள மின்புலத்தின் காரணமாக, அது கடந்து செல்லும் வாயுவின் அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகளிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களை வெளிப்படுத்துகிறது. இவை நேர்மின் அயனிகளாக (positive ions) மாறுகின்றன. வெளியேற்றப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் சிறிது நேரத்திற்குத் தன்னிச்சையாக இயங்குகின்றன. எனவே, மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் வாயுவின் வழியே செல்லும் போது, நேர்மின் அயனிகளும் தன்னிச்சையான எலெக்ட்ரான் ... கொண்ட பல அயனி-இரட்டைகளை (ion-pair) உருவாக்கு ...றது.

வாயுவின் வழியே செல்லும் மின்னூட்டத் துகளால் தோன்றும் அயனியாக்கத்தின் (ionisation) செறிவு, 'அயனியாக்க எண்'ணால் குறிக்கப்படுகிறது. **துகளின் பாதையில் ஒரு சென்டிமீட்டரில் உருவாக்கப்படும் அயனி-இரட்டைகளின் எண்ணிக்கையே 'அயனியாக்க எண்'** (specific ionisation) **எனப்படுகிறது.**

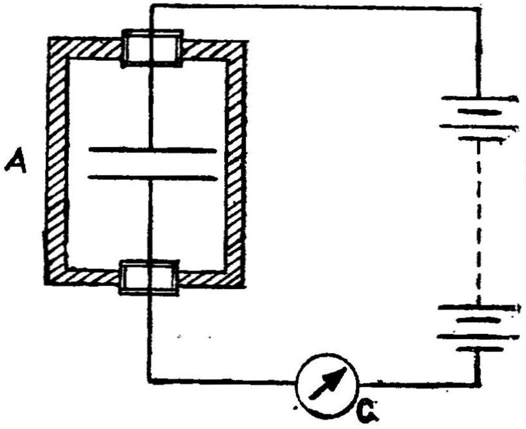
கதிரியக்கத் தோற்றுவாய்களிலிருந்து வரும் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் சாதாரணக் காற்றில் ஒரு சென்டி மீட்டருக்கு 25,000 முதல் 10,000 வரை அயனி-இரட்டைகளை உருவாக்குகின்றன. அதே அளவு ஆற்றல் வாய்ந்த பீட்டாத் துகள்கள் ஒரு சென்டிமீட்டருக்குச் சில நூறு அயனி-இரட்டைகளைத்தான் உருவாக்குகின்றன. எனினும், பீட்டாத் துகள் செல்லும் மொத்தத் தூரம், ஆல்ஃபாத் துகள் செல்லும் தூரத்தைப் போல நூறு மடங்கு அதிகமாக இருப்பதால், மொத்த அயனியாக்கம் இரண்டுக்குமே கிட்டத்தட்ட சமமாக இருக்கும். இயல்பான வெப்ப நிலையும் அழுத்தமும் உள்ள காற்றின் (NTP) வழியே செல்லும் மின்னூட்டத் துகளுக்கு ஓர் அயனி-இரட்டையை உருவாக்கக் கிட்டத்தட்ட 34 எலெக்ட்ரான் வோல்ட் அளவு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது.

மின்புலத்தில் அயனி-இரட்டைகளின் நடத்தை

ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் பெறப்பட்ட மொத்தக் கதிர்களையும், தனித் துகள்களின் எண்ணிக்கையையும் அடிப்படையாகக்கொண்டு அணுக்கருக் கதிர்வீச்சு அளக்கப்படுகிறது. இதற்காகப் பல கருவிகள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இக் கருவிகள், அயனியாக்கக் கதிர்களால் உருவாக்கப்படும் நேர்மின் அயனிகளையும் எதிர்மின் அயனிகளையும் மின்வாய்களில் சேகரிக்கின்றன. இத்தகு சூழ்நிலையில் அயனிகளின் நடத்தையைப் பற்றித் தெரிந்துகொள்ளப் படம் 3-1-ல் காட்டியுள்ள அமைப்பு உதவுகிறது. இதில் காற்று அல்லது தேவையான வாயு அடைக்கப்பட்ட A என்ற கலம் உள்ளது. கலத்தினுள் இணையான இரு உலோகத் தகடுகள் மின்வாய்களாக வைக்கப்பட்டுள்ளன. மின்வாய்கள் B என்ற மின்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. C என்பது மின்னோட்டத்தை அளக்கும் கருவி.

சாதாரணமாகக் கலத்திலுள்ள காற்று மின்சாரத்தைக் கடத்தாது. எனவே, கருவி C-யிலும் மின்னோட்டம் எதுவும்

இருக்காது. மின்னழுத்தம் பல ஆயிரம் வோல்ட்டுகளாக அதிகரிக்கும்போதுதான் மின்வாய்களுக்கிடையே பொறி (Spark) உண்டாகி, மின்னோட்டம் காணப்படும். இப்போது ஓர் ஆல்ஃபாத் துகளோ, பீட்டாத் துகளோ அல்லது வேறு அயனியாக்கக் கதிரோ கலத்தினுள் நுழையவிடப்பட்டு



படம் 3-1.

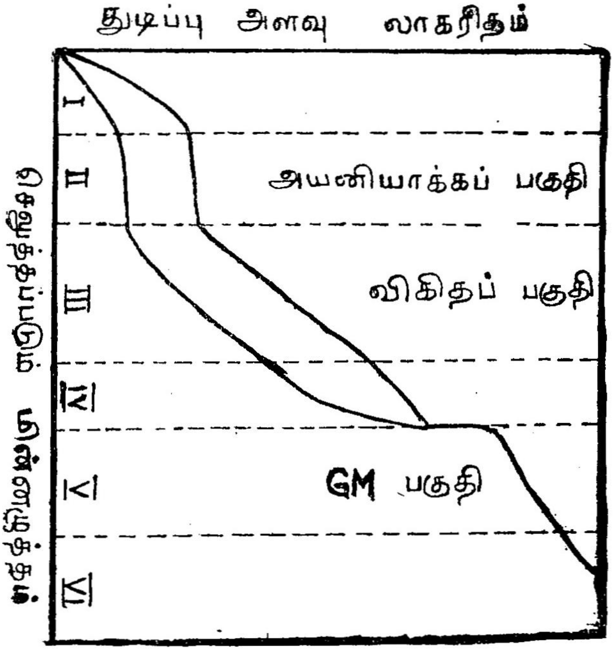
அயனிகளின் நடத்தைபற்றி அறிய உதவும் அமைப்பு.

A-வாயுக் கலம்; B-மின்கலம்; C-மின்னோட்ட அளவி.

மின்கலத்தினால் சிறிய அளவு மின்னழுத்தம் தகடுகளுக்குச் செலுத்தப்பட்டால், ஏராளமான அயனி - இரட்டைகள் தோன்றும். மேலும், செலுத்தப்பட்ட மின்னழுத்தத்தின் காரணமாக நேர்மின் அயனிகள் ஒரு மின்வாய்க்கும், எதிர்மின் அயனிகள் மற்றொரு மின்வாய்க்கும் செல்லும். மின்னோட்டத்தின் துடிப்பைக் கருவி C காட்டும்.

சேகரிக்கப்பட்ட மின்னூட்டங்களின் அளவும், மின்னோட்டத் துடிப்பும் இரண்டு காரணங்களைச் சார்ந்துள்ளன. அவையாவன: (1) அயனியாக்கப் பொருள் அல்லது வீசு கதிரால் இரு மின்வாய்களுக்குமிடையே முதலில் உருவாக்கப்பட்ட அயனி-இரட்டைகளின் எண்ணிக்கை; (2) செலுத்தப்பட்ட மின்னழுத்தம். இத்தகைய சோதனைகளின் மூலம் பெறப்பட்ட முடிவுகளின் பொதுவான இயல்பு படம் 3-2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் மின்னோட்டத் துடிப்பின் அளவு லாகரித அளவுகோலில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. A என்ற வரை கோடு வீசுகதிரால் 1000 அயனி-இரட்டைகளையும் (log 1000=3),

B என்ற வரைகோடு வீசுகதிரால் 10 அயனி-இரட்டைகளையும் (log 10 = 1) உருவாக்கப்படுவதைக் குறிக்கின்றன.



படம் 3-2.
செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்திற்கும், துடிப்பு அளவின் லாகரிதத்திற்கும் வரையப்பட்ட வரைபடம்.

இப் படத்தைக் கூர்ந்து நோக்கினால், இதனை ஆறு பாகங்களாகப் பிரிக்கலாம் என்பது தெளிவாகும். முதல் பாகத்தில் ஓர் ஆல்ஃபா அல்லது பீட்டாத் துகளால் உண்டாக்கப் பட்ட மின் துடிப்பு, செலுத்தப்பட்ட மின்னழுத்தத்திற்கு ஏற்ப அதிகரிக்கிறது. இரண்டாம் பாகத்தில் மின் துடிப்பு நிலையான அளவில் இருக்கிறது. மற்ற நான்கு பாகங்களிலும் தொடர்ந்து மின் துடிப்பு, மின்னழுத்தத்தோடு அதிகரிக்கிறது. ஐந்தாம் பாகத்தில் A, B ஆகிய இரு வரைகோடுகளும் ஒன்றாகிவிடு கின்றன. இதனால் முதலில் மின்வாய்களுக்கிடையே உண் டாக்கப்பட்ட அயனி-இரட்டைகளின் எண்ணிக்கை எவ்வாறிருந் தாலும், ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தத்தில் மின் துடிப்பின் அளவு சமமாகிவிடுகிறது எனத் தெரிகிறது. மேற்கண்ட

உண்மைகளின் விளக்கங்களையும், அவற்றின் பயன்களையும் கருவிகளின் செயல்முறைகளின் மூலம் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

கண்டுணர் கருவிகள்

கதிரியக்கங்களையும், மின்னூட்டப் பொருள்களையும் கண்டுணர்வதற்கான முறைகள் எல்லாம் அவை, தாம் கடந்து செல்லும் பொருள் அல்லது வாயுவோடு ஏற்படுத்தும் விளைவுகளை அடிப்படையாகக் கொண்டவை. இவ் விளைவினால் அயனியாக்கம் உண்டாகிறது. எலெக்ட்ரானிக் மின்சுற்றில் மாறுதல்களை (fluctuations) ஏற்படுத்துதல் அல்லது ஒளித்திரைக் கருவியில் ஒளியை உமிழ்தல் அல்லது வெப்ப நிலையை அதிகரித்தல் அல்லது வேதியியல் மாற்றம் ஆகிய வழிமுறைகளில் ஏதாவது ஒன்றை அடிப்படையாகக்கொண்டு இக் கண்டுணர் கருவிகள் செயற்படுகின்றன. பொதுவாக, ஒரு வாயுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களையும், நேர்மின் அயனிகளையும் வேறுபடுத்திச் சேகரித்து அதன்மூலம் மின்னோட்டம் அல்லது மின் துடிப்பை ஏற்படுத்துவதை அடிப்படையாகக்கொண்டே பல்வேறு கண்டுணர் கருவிகள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த வகையில் தான் அயனியாக்கக் கலம், விகித எண்ணி, கைகர்-முல்லர் எண்ணி ஆகியவை உருவாக்கப்பட்டுள்ளன.

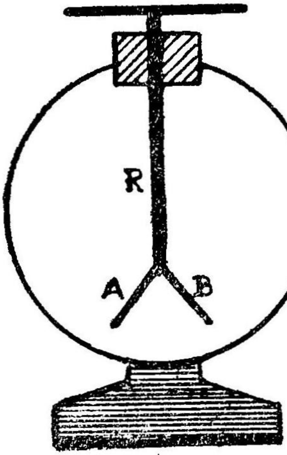
மின்காட்டி

மின்னூட்டமுடைய காப்பிடப்பட்ட ஒரு கடத்தியினுள் தங்க இலை போன்ற மெல்லிய, நெகிழ்ச்சியான (flexible) பொருள் ஒன்று இருந்தால், கடத்தியின் மற்ற பாகங்களால் இப் பொருள் எதிர்த்துத் தள்ளப்படும். இதனை நிலைமின் விசைகளாலும் (electrostatic forces), ஈர்ப்பு விசைகளாலும் சமநிலைக்குக் கொண்டுவரலாம். நெகிழ்ச்சியான பொருளின் நிலையைக்கொண்டு கடத்தியின் மின்னூட்டத்தை அளக்கலாம். இந்த அடிப்படைக் கொள்கையைக் கொண்டுதான் தங்க இலை மின்காட்டிகள் (gold leaf electroscope) உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. சென்ற நூற்றாண்டில், அயனியாக்கும் தன்மையை அளப்பதற்குத் தங்க இலை மின்காட்டிகள் மட்டுமே இருந்தன.

இத்தகைய மின்காட்டியின் எளிமையான அமைப்பு படம் 3-3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. R என்ற உலோகத் தண்டின் நுனியில் A, B என்ற இரு மெல்லிய தங்க இலைகள் தொங்க விடப்பட்டுள்ளன. தண்டின் வழியே இலைகளுக்கு மின்னூட்டம் அளித்தால், அவை ஒன்றையொன்று எதிர்த்து விரிகின்றன.

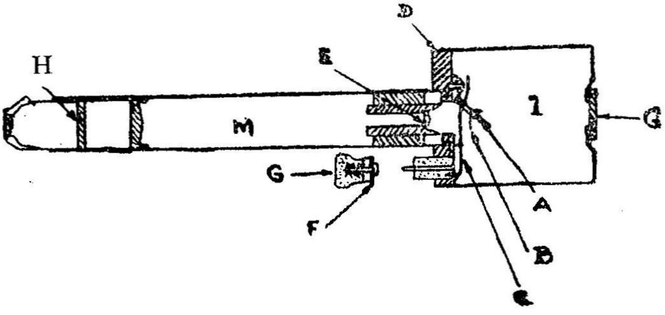
அவற்றைச் சுற்றியுள்ள காற்று அயனியாக்கப்பட்டு, அவை மின்னூட்டம் இழந்து மெதுவாக ஒன்றுசேருகின்றன. ஒரு நுண்ணோக்கியால் அவை ஒன்று சேரும் வேகத்தைக் கணக்கிட்டால், காற்று அயனியாக்கப் பெறும் வேகமும், கதிரின் செறிவும் தெரிய வரும்.

இலைக்கு அருகில் உள்ள வாயுவில் அயனிகள் உண்டாக்கப்படும் வீதம், இலையின் கோண நிலையின் மாற்ற வீதத்தைக் (rate of change of angular position) கொண்டு தீர்மானிக்கப்படுகிறது. கதிரியக்கத் தன்மை வாய்ந்த பொருளின் மாதிரியை மின்காட்டி கூட்டுக்குள் வைத்தால், இலையின் கோணநிலை மாற்ற வீதம், கதிரியக்கத்திற்கு நேர் விகிதமாக (proportional) இருப்பதைக் காணலாம். மின்காட்டிகள் தனித் துகள்களைப் பகுத்தறிவதற்கேற்ற அளவு உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்தவை அல்ல.



படம் 3-3
தங்க இலை மின்காட்டி
R— உலோகத் தண்டு;
A, B—தங்க இலைகள்.

லாரிட்சன் மின்காட்டி (Lauritsen electroscope) படம் 3-4-ல்



படம் 3-4
லாரிட்சன் மின்காட்டி.
I-அயனியாக்கக் கலம்; G-கண்ணாடிச் சன்னல்; D-அலுமினியச் சுவர்; E-பொருளருகு வில்லை; M-நுண்ணோக்கி; F-200 வோல்ட் D. C.; A-தங்க மெருகேற்றப்பட்ட குவார்ட்ஸ் இழை.

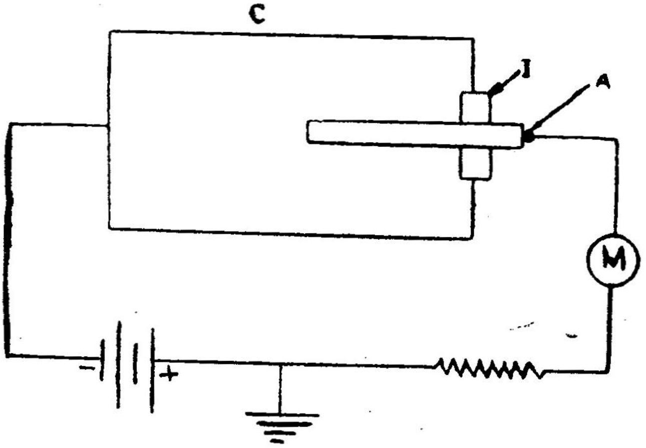
காட்டப்பட்டுள்ளது. தங்க மெருகேற்றப்பட்ட மெல்லிய

குவார்ட்ஸ் இழை (quartz fibre) ஒன்று இதனுள் நெகிழ்ச்சியான பொருளாக இருக்கிறது. குவார்ட்ஸின் மீட்சியுறு தன்மை (elasticity) இங்கு பயன்படுகிறது. இழையின் இயக்கம் ஒரு நுண்ணோக்கியால் காணப்படுகிறது. பீட்டா, காமாக் கதிர்கள் அயனியாக்கக் கலத்தின் அலுமினியச் சுவரை ஊடுருவிச் சென்றுவிடும். ஆனால், ஆல்ஃபா, பீட்டாத் துகள்களால் ஊடுருவிச் செல்ல இயலாது. அவற்றிற்காகச் சிறிய சன்னல் பயன்படுகிறது. அல்லது அவை அயனியாக்கக் கலத்தின் உள்ளேயே வைக்கப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளால் வெளியிடப்படும் மொத்த அயனியாக்கக் கதிர்களின் அளவு, நெகிழ்ச்சியான குவார்ட்ஸ் இழையின் இயக்கத்தால் கணக்கிடப்படுகிறது.

அயனியாக்கக் கலம்

தற்காலத்தில் தயாரிக்கப்படும் அயனியாக்கக் கலங்கள் (ionisation chambers) மிகவும் செம்மைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. இவற்றைக்கொண்டு அணுக்கருச் சிதைவின் புள்ளியியல் விளைவை (statistical effects) ஆராயலாம். தகர்க்கப்பட்ட அணுவிலிருந்து வெளிப்படும் துண்டுகளின் எண்ணிக்கையையும் அவற்றின் ஆற்றலையும் துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம்.

அயனியாக்கக் கலம் எனும் கருவி பொதுவாக உருளை



படம் 3-5.
வாயு அயனியாக்கக் கலம்.
C–கலத்தின் சுவர் (எதிர்மின்வாய்) ; I–காப்பான் ; A–நேர்மின்வாய் ; M–மின்னோட்ட அளவி.

வடிவில் இருக்கும். இதன் அமைப்பு படம் 3-5-ல் காட்டப்

பட்டுள்ளது. கலத்தினுள் இருக்கும் வாயுவில் ஒரு மின்புலத்தைச் செலுத்தும் வண்ணம் இரு மின்வாய்களும் இதனுள் உள்ளன. இந்த வாயுவினூடே செல்லும் மின்னூட்டத் துகள்களும் மின்காந்தக் கதிர்களும் வாயுவின் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளுடன் மீட்சியிலா மோதுகை (inelastic collision) பெற்று, நேர்மின் அயனிகளையும் எலெக்ட்ரான்களையும் உண்டாக்குகின்றன. அங்கு மின்புலம் இல்லாவிட்டால் அவை மீண்டும் ஒன்றுசேர்ந்து நடுநிலை (neutral) அணுக்களை உண்டாக்கும். எதிர்மின் (electro negative) வாயுக்கள் எனப்படும் சில வாயுக்களில், எலெக்ட்ரான்கள் நடுநிலை மூலக்கூறுகளுடன் சேர்ந்து எதிர்மின் அயனிகளை உண்டாக்குகின்றன.

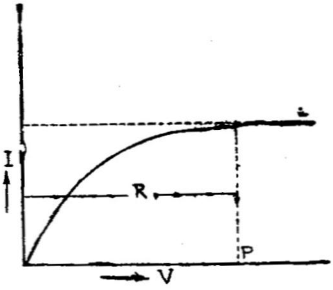
மின்வாய்களில் ஒரு மின்னழுத்தம் செலுத்தப்படும்போது அயனிகள் விசைக் கோடுகளின் (lines of force) வழியே நகர்கின்றன. இதனால் ஓர் அயனியாக்க மின்னோட்டம் (ionisation current) உண்டாக்கப்படுகிறது. சாதாரண நிலைகளில், எலெக்ட்ரான்கள் செகண்டுக்கு 10^6 செ.மீ. என்ற அளவில் வேகமாக நகர்கின்றன. ஆனால், அயனிகள் இதைவிடப் பல மடங்கு மெதுவாகவே நகர்கின்றன. ஏனெனில், வாயுவின் மூலக்கூறுகளுடன் அடிக்கடி மோதுவதால், அயனிகளால் அதிக திசைவேகத்தைப் பெற முடிவதில்லை.

அயனியாக்கக் கலத்தினுள் அயனியாக்கக் கதிர்கள் செல்லும்போது அளக்கப்படும் மின்னோட்டம், முதலில் மின்னழுத்தத்திற்கேற்ப அதிகரிக்கிறது. பின்னர், ஒரு நிலை வந்தவுடன் மின்னழுத்தம் அதிகரித்த போதிலும் மின்னோட்டம் நிலையாக இருக்கிறது. இந்த மின்னழுத்தப் பகுதியில் அயனிகள் மீண்டும் ஒன்றுசேருகின்றன. அதாவது, சேகரிக்கப்படும் அயனிகளின் எண்ணிக்கை, உண்டாகும் அயனிகளின் எண்ணிக்கையைவிடக் குறைவாக இருக்கிறது. இதனை அயனியாக்க மின்னோட்டத்திற்கும் (I), செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்திற்கும் (V) போடப்படும் வரைபடம் (படம் 3-6) காட்டுகிறது. இந்த வரைபடத்திலுள்ள மேடான பகுதி (plateau) தெவிட்டிய மின்னோட்டம் (saturated current) எனப்படுகிறது.

பொதுவாக, எந்த அயனியாக்கக் கலத்திற்கும் இந்தத் தெவிட்டிய மின்னோட்டம் பெறுவதற்குத் தேவையான மின்

னழுத்தத்தின் அளவு, அயனியாக்கம் நடைபெறும் வீதத்தின் அளவைப் பொறுத்து அமையும். தெவிட்டு நிலையில், சராசரி அயனியாக்க மின்னோட்டம் i-யும், ஓரலகு நேரத்தில் உண்டாக்கப்படும் அயனி—இரட்டைகளின் எண்ணிக்கை N-ம் தொடர்புடையன.

$$i = Ne$$



படம் 3-6

அயனியாக்க மின்னோட்டத்தின் தெவிட்டுநிலை வளைகோடு
V—செலுத்தப்பட்ட மின்னழுத்தம்;
I—அயனியாக்க மின்னோட்டம்.
R பகுதியில் அயனிகள் மீண்டும் ஒன்றுசேருகின்றன.
P-இல் மின்புலம் வலிமையாகி அயனிகள் மீண்டும் ஒன்றுசேர்தல் தவிர்க்கப்படுகிறது.

என்ற சமன்பாடு இத் தொடர்பைக் காட்டுகிறது. இதில் e என்பது எலெக்ட்ரானிய மின்னூட்டமாகும். ஒவ்வோர் அயனி — இரட்டையும் $1{\cdot}602 \times 10^{-19}$ கூலும்பிற்கும், செகண்டுக்கு $6{\cdot}25 \times 10^{6}$ அயனி - இரட்டைகள் 10^{-12} ஆம்பியர் மின்னோட்டத்திற்கும் சமமானவை. இவ்வாறாக ஓர் அயனியாக்கக் கலமானது பலவித அயனியாக்க நிகழ்ச்சிகளின் தொகுத்த விளைவுகளையும் அளிக்கிறது.

புள்ளியியல் மாறுதல்களை (statistical fluctuations) அடக்குவதற்காக, மின்னோட்டத்தை அளக்கும் கருவி மெதுவாகச் செயற்படுவது நல்லது. எலெக்ட்ரான்களைச் சேகரிக்கும்போது, அவை தன்னிச்சையான எலெக்ட்ரான்களா அல்லது மூலக்கூறுகளுடன் இணைந்த அயனிகளா என்பது முக்கியமல்ல. வாயுவில் அயனிகள் மீண்டும் ஒன்றுசேருதல் மிகக்குறைவாகவே இருக்கும். மேலும், வாயுவில் மிகக்குறைந்த மின்புல வலிமையிலேயே தெவிட்டு நிலை கிட்டிவிடும்.

அயனியாக்க மின்னோட்டம் அதிகமாக இருந்தால், அதனை மைக்ரோ அம்மீட்டர் மூலம் அளக்கலாம். எனினும், பொதுவாக அதிக உணர்வுநுட்பம் வாய்ந்த கருவிகளே பயன்படுத்தப்படுகின்றன. கலத்தின் மின்தேக்கியுடன் இன்னுமொரு மின்தேக்கியும் இணைக்கப்பட்டு மின்னூட்டம் சேகரிக்கப்படுகிறது.

இந்த மின்தேக்கியில் ஏற்படும் மின்னழுத்த மாற்ற வீதம் ஓர் எலெக்ட்ராமீட்டரால் அளக்கப்படுகிறது.

$$Q=CV \text{ என்பதால்,}$$

$$\text{அயனியாக்க மின்னோட்டம் } i = \frac{dQ}{dt}$$

$$= C\frac{dV}{dt}$$

மின்தேக்கியிலுள்ள மின்னழுத்தத்தை அளக்கப் பயன்படும் எலெக்ட்ராமீட்டர் சக்திவாய்ந்த மின் எதிர்ப்புக் கருவியாகும். இதன் செயல்முறை, மின்னூட்டமுடைய பொருள் மின்புலத்தில் ஏற்படுத்தும் எதிர்வினைகளைப் (interaction) பொறுத்து அமைகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட வீசுகதிர் செறிவுக்கு ஏற்படும் அயனியாக்க மின்னோட்டம், பெருமளவுக்கு வாயுவின் நிறையையும், ஓரளவுக்குக் கலத்தின் பௌதிகப் பரிமாணங்களையும் பொறுத்து ஏற்படுகிறது.

வெவ்வேறு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் ஓர் அயனியாக்கக் கலத்தில் உண்டாக்கிய அயனியாக்க மின்னோட்டத்தைப் பற்றிய தனித்தனி சோதனைகளிலிருந்து காற்றின் இயல்பான வெப்ப, அழுத்த நிலையில் ஒரு செ.மீ. பாதையில் உருவாக்கப்பட்ட அயனி - இரட்டைகளின் எண்ணிக்கை கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. விரைவான எலெக்ட்ரான்கள் சுமார் 45 அயனி-இரட்டைகளையும், குறைந்த வேகமுள்ளவை 200 இரட்டைகளையும், விரைவான புரோட்டான்கள் 3200 இரட்டைகளையும், விரைவான ஆல்ஃபாத் துகள்கள் 25,000 இரட்டைகளையும் உருவாக்குகின்றன. புரோட்டான்கள் அவற்றின் இயங்கெல்லை முடிவில் சுமார் 15,000 இரட்டைகளையும், ஆல்ஃபாத் துகள்கள் அவற்றின் இயங்கெல்லை முடிவில் சுமார் 75,000 இரட்டைகளையும் உருவாக்குகின்றன. இம் முடிவுகளிலிருந்து ஆல்ஃபாத் துகள்கள் 25,000 முதல் 75,000 வரை அயனி-இரட்டைகளை உருவாக்குகின்றன என்றும், அவற்றின் வேகம் அதிகமாக அதிகமாக, குறைவான அயனிகளே உருவாக்கப்படுகின்றன என்றும் தெரிகிறது. அவற்றை ஒப்பு நோக்குகையில், புரோட்டான்கள் 5 முதல் 10 மடங்கு குறைவான அயனி இரட்டைகளையும், எலெக்ட்ரான்கள் 300 முதல் 500 மடங்கு குறைவான அயனி-இரட்டைகளையும் உருவாக்குகின்றன. அணுக்கருச் சிதைவுச் சோதனைகளில் வெளிப்படும் துண்டுகளால் உருவாக்கப்படும் அயனி-இரட்டை

களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிட்டால் அத் துண்டுகள் ஆல்ஃபாத் துகள்களா அல்லது புரோட்டான்களா அல்லது எலெக்ட்ரான்களா என்ற முடிவுக்கு எளிதில் வரலாம்.

அயனியாக்கக் கலத்தின் அளவுகளும், அக் கலத்தில் பயன் படுத்தப்பட வேண்டிய வாயுவின் அழுத்தமும், ஆராயப்பட வேண்டிய கதிர்வீச்சின் தன்மையைப் பொறுத்துத் தீர்மானிக் கப்படுகின்றன. ஆல்ஃபாத் துகள்கள் சில செ.மீ. காற்றில் முழுவதும் உட்கவரப்படுகின்றன. எனவே, அவற்றிற்கான அயனியாக்கக் கலங்கள் வளி அழுத்தத்தில் காற்றால் நிரப்பப் படுகின்றன. அதன் நீட்டலளவைகள் துகள்களின் இயங் கெல்லையைவிட அதிகமாக இருக்க வேண்டியதில்லை. எனவே, கலங்கள் சிறியனவாக இருந்தாலும் பரவாயில்லை. ஆனால், பீட்டாக் கதிர், காமாக் கதிர் போன்ற அதிகமான ஊடுருவு திறன்கொண்ட கதிர்களுக்குப் பெரிய அறைகள் கொண்ட அயனி யாக்கக் கலங்கள் பயன்படுத்தப்பட வேண்டும். காமாக் கதிர் களால் உருவாக்கப்படும் அயனிகளின் எண்ணிக்கையை அதிகமாக்குவதற்குக் காற்றின் அழுத்தத்தை 50 வளி அழுத்தம் வரை அதிகரிக்கலாம். அல்லது அதிக உட்கவர் திறன் கொண்ட மிதைல் அயோடைடு (Methyl iodide) போன்ற வாயு வைப் பயன்படுத்தலாம்.

மின்சாரக் கசிவு, கதிரியக்க மாசுக்களின் பயனுய் எழும் தூய்மைக் கேடு ஆகியவை புல்லுருவி விளைவுகள் (parasitical effects) எனப்படுகின்றன. இவற்றால் உண்டாக்கப்படும் பின்னணி விளைவு (Background effects) செம்மைப்படுத்தப்பட்ட தற்காலக் கருவிகளில் கூடியவரை குறைக்கப்பட்டுள்ளது. எனினும், இவற்றை அடியோடு தவிர்க்க முடியாது. கலத்தில் அதிக அழுத்தத்தில் வாயுவை நிரப்புவதாலும், அயனியாக்க அறையைச் சுற்றி காரீயத் திரைகளை வைப்பதாலும் பின்னணி விளைவுகளை ஓரளவுக்குக் குறைக்கலாம். அதன் பின்னரும் எஞ்சியிருக்கக்கூடிய பின்னணி அயனியாக்கத்தைத் தனிச் சோதனை மூலம் மதிப்பிட்டு, முன்னர்க் காணப்பட்ட அயனியாக் கத்தினின்றும் கழித்துத் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்படுகிறது.

அயனியாக்கக் கலத்துடன் ஓர் எதிர்மின் கதிர் ஆசில கிராஃப் (Cathode ray oscillograph) இணைக்கப்பட்டால் மிகச் சிறந்த முடிவுகள் கிடைக்கின்றன. அயனியாக்கக் கலத்தினுள் அடுத்தடுத்துத் துகள்கள் விரைவாகச் சென்றாலும், திரையி

லுள்ள எலெக்ட்ரானிக் கற்றையின் கண நேர விலக்கங்களால் (Kicks) தெளிவாகக் கணக்கிட முடிகிறது.

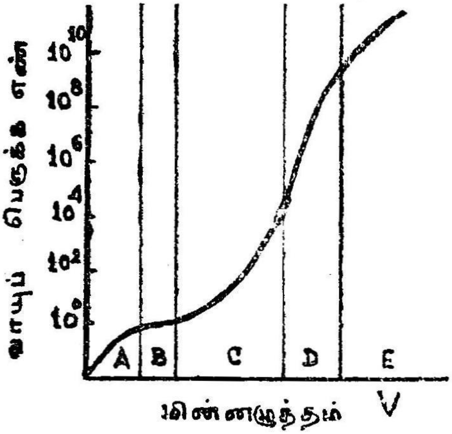
ஹாஃப்மன், போஸ் (Haffman and Pose) ஆகிய விஞ்ஞானி கள் அயனியாக்க அறையைத் தனிம மாற்ற ஆய்வில் பயன்படுத் தினர். ஆல்ஃபாத் துகள்களால் தாக்கப்பட்ட அலுமினிய அணுக் கருவிலிருந்து வெளிப்படும் துண்டுகள் 3000 அயனி-இரட்டைகளை உருவாக்கின; ஃபெர்மியும் (Fermi) அவரது உதவியாளர்களும் அதிகமான வளி அழுத்தத்தில் கார்பன்–டை–ஆக்சைடால் நிரப்பப்பட்ட, மெல்லிய அலுமினியப் பலகணி கொண்ட பெரிய அயனியாக்கக் கலத்தைக்கொண்டு, வெவ்வேறு தனிமங்களில் நியூட்ரானுல் தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கத்தை அளவிட்டனர்.

ஆல்ஃபாத் துகள் போன்ற சில குறிப்பிட்ட துறைகளில், அயனியாக்கக் கலம் நிறமாலைமானியாகப் பயன்படுத்தப்படு கிறது. இதில் மின்னேட்டம் அளக்கப்படுவதில்லை; தனித்த மின்னழுத்தத் துடிப்புகளின் வீச்சு அளக்கப்படுகிறது. ஆல்ஃபாத் துகள்களை உட்கவருவதால் அயனியாக்கக் கலத்தி லிருந்து வெளிவிடப்படும் மின்னூட்டத்தோடு (V=Q/C) துடிப்புகளின் வீச்சு நேரான தொடர்பு உடையவை; வாயுவில் அயனி இரட்டையை உண்டாக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றல் முன்னரே தெரிந்திருந்தால், துகள்களின் ஆற்றலைத் தீர்மானிக் கலாம்.

விகித எண்ணி

அயனியாக்கக் கலன் செயற்படும் பகுதியைப் படம் 3-7-ல் உள்ள B பிரிவு காட்டுகிறது. இப் பிரிவு ‘சுழி வாயுப் பெருக்கம்’ (Zero gas amplification) எனப்படுகிறது. கலனில் மின்னழுத்தம் மேலும் அதிகரிக்கப்படும்போது ஒரு புதிய செயல் காணப்படு கிறது. இது படத்தில் C என்ற பகுதியில் உள்ளது. ஆரம்ப அயனியாக்க விளைவிற்குப் பிறகு, எலெக்ட்ரான்கள் முன்னைவிட அதிக முடுக்கத்துடன் நடுவிலுள்ள மின்வாயை நோக்கிச் செல்கின்றன. இப்போது அதிகச் செறிவுள்ள மின்புலத்தால், மோதுகைகளுக்கு இடையில் அதிக ஆற்றல் பெற்றுப் புதிய அயனி – இரட்டைகளை உருவாக்குகின்றன. இது வாயுப் பெருக்கம் (gas multiplication) என அழைக்கப்படுகிறது. இத் தகைய செயலால் ஒரு தனித்த பீட்டாத் துகள் அல்லது காமாக் கதிரைக் கண்டுணர்வதால், மில்லிவோல்ட்டிலிருந்து 2 வோல்ட் வரை மின்னழுத்தம் உண்டாக்கக்கூடிய அளவிற்குப் போது

மான மின்னூட்டம் சேகரிக்கப்படுகிறது. இதிலுள்ள முக்கிய மான அம்சம் என்னவென்றால், இத் துடிப்புகளின் அளவு, ஆரம்ப அயனியாக்க நிகழ்ச்சிகளால் சேமிக்கப்பட்ட (deposited) ஆற்றலின் அளவிற்கு நேர்விகிதமாக இருக்கிறது. அதாவது, துடிப்புகளின் அளவு, உண்டாக்கப்பட்ட அயனி-இரட்டை களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதமாக இருக்கிறது.



படம் 3-7.
செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்தின் சார்பாக (function) வாயுப் பெருக் கத்தைக் காட்டும் வரைபடம். அயனியாக்கக் கலம் செயற்படும் பகுதியை b-பிரிவு காட்டுகிறது.

அயனியாக்கக் கலனின் நடுவிலுள்ள நேர்மின்வாய் சாதா ரணமாக ஓர் உருளையாகவோ அல்லது சில அங்குல விட்ட முள்ள தண்டாகவோ இருக்கும். ஆனால், விகித எண்ணியின் (proportional counter) நேர் மின்வாய் ·001-லிருந்து ·01 அங்குலம் வரை விட்டமுள்ள மெல்லிய கம்பியாக இருக்கும். இத்தகைய மெல்லிய கம்பியைப் பயன்படுத்துவதில் உள்ள நன்மையை மின்புல வலிமைக்கும், நேர்மின்வாயின் ஆரத் திற்கும் உள்ள தொடர்பினால் அறியலாம்.

$$Er = \frac{Vo}{r \ln b/a}$$

இதில் Er என்பது மின்புல வலிமை. a என்பது உள்ளே உள்ள மின்வாயின் ஆரம். b என்பது வெளி மின்வாயின் ஆரம். Vo என்பது எண்ணியில் செலுத்தப்பட்ட மின்னழுத்தம். எனவே,

r குறையும்போது நேர்மின்வாயின் அருகிலிருக்கும் புல வலிமை அதிகரிக்கிறது. நேர்மின்வாய்க்கு அருகில்தான் எலெக்ட்ரான் களின் முடுக்கம் அதிகமாக இருப்பதால், கிட்டத்தட்ட மொத்த வாயுப் பெருக்கமும் ஏற்படுகிறது. நேர்மின்வாயின் ஆரம் ·002 அங்குலத்திற்குள் இருக்கும்போது பெருக்கம் ஏற்படுகிறது. செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் இருக்கும்போதுதான் எண்ணி நேர்விகிதமாக இருக்கும். விகித எண்ணியில், இறுதியாகச் சேகரிக்கப்படும் மின்னூட் டங்களின் எண்ணிக்கை, தனிப்பட்ட வாயுப் பெருக்கங்களி லுள்ள மின்னூட்டங்களின் மொத்தக் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகவும், ஆரம்ப அயனியாக்கத்திற்கு நேர்விகிதமாகவும் இருக்கும். 10^3 முதல் 10^4 வரை உள்ள பெருக்க எண்கள் சாதாரணமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

விகித எண்ணிகளைக்கொண்டு துகள்களின் ஆற்றலையும், குறைந்த ஆற்றலுள்ள காமாக் கதிர், எக்ஸ் கதிர்கள் ஆகிய வற்றின் ஆற்றலையும் தீர்மானிக்கலாம். இவை அனைத்தும் எண்ணியில் பயன்படுத்தப்படும் வாயுவால் முழுமையாக உட்கவரப்படத்தக்கவையாக இருக்கவேண்டும். இந்த வகை எண்ணிகளுக்கு அதிக ஈட்டமுள்ள (gain) துடிப்புப் பெருக்கி களின் துணை தேவைப்படும்.

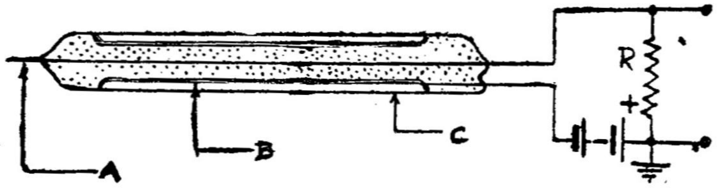
விகித எண்ணியில் செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தம் (படம் 3-7-ல் உள்ள D பகுதி) மேலும் அதிகரிக்கப்படும்போது உண்டாக்கப்படும் அயனிகளின் எண்ணிக்கை மின்னழுத் தத்தைப் பொறுத்தோ, அல்லது ஆரம்ப அயனியாக்கத்தைப் பொறுத்தோ அமைவதில்லை. எண்ணியினுள் உள்ள மின் புலத்தைச் சூழ்மின்னூட்டங்கள் குலைப்பதே இதற்குக் காரணம். இதனால் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க எண்ணியின் விகிதத் தன்மையும் குறைகிறது. மேலும், ஆல்ஃபாத் துகள், பீட்டாத் துகள்களைப் பொறுத்து பெருக்க எண்களும் வேறு படும். சூழ்மின்னூட்டங்கள் எதிர்த்துத் தள்ளுவதாலும், சில அயனிகள் மீண்டும் ஒன்றுசேருவதால் வெளிப்படும் புற ஊதா ஒளியின் ஃபோட்டான்களால் புதிய அயனியாக்கம் உண்டாவ தாலும், எண்ணியில் மின்னிறக்கம் உண்டாகத் துவங்குகிறது. மேலும், ஃபோட்டான்கள் எதிர்மின்வாயிலிருந்து ஒளி எலெக்ட் ரான்களை வெளிப்படச் செய்கின்றன.

இந்தப் பகுதி, D விகித எண்ணிக்கும் கைகர்-முல்லர் எண்ணிக்கும் இடைப்பட்ட பகுதியாகும். இது எல்லைப்படுத் தப்பட்ட விகிதத்தன்மை (limited proportionality) எனப்படும்.

கைகர்-முல்லர் எண்ணி

ஜெர்மனியைச் சேர்ந்த ஹான்ஸ் கைகர் (Hans Geiger) என்பவரால் 1913-ம் ஆண்டு 'கைகர்-எண்ணி' (Geiger Counter) உருவாக்கப்பட்டது. 1928-ம் ஆண்டு கைகரும் முல்லரும் சேர்ந்து அதில் பல சீரமைப்புகளையும் திருத்தங்களையும் செய்து 'கைகர்-முல்லர் எண்ணி'யை (Geiger-Muller Counter) அமைத்தனர். இது சுருக்கமாக G-M எண்ணி எனவும் அழைக்கப்படும். இக் கருவியால் தனித்தனித் துகள்களையும் எண்ணலாம். சாதாரணமாக எக்ஸ் மற்றும் காமாக் கதிர்களைக் கண்டுணர அயனியாக்கக் கலங்களும், மின்னூட்டத் துகள்களைக் கண்டுணர G-M எண்ணிகளும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

கைகர்-முல்லர் எண்ணியின் அமைப்பு படம் 3-8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. கண்ணாடியால் சூழப்பட்ட உலோகக் குழாய்க் கலனுக்குள் காற்று அல்லது வேறு வாயு சுமார் 10 செ.மீ. அழுத்தத்தில் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. குழாயின் அச்சில் இறுக்கமாக, குழாயின் மின்தொடர்பு இல்லாதவாறு இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ள மெல்லிய கம்பி நேர்மின்வாயாக விளங்குகிறது. கண்ணாடிக்குள் உள்ள உலோக உருளை எதிர்மின்வாயாகச்



படம் 3-8

கைகர்-முல்லர் எண்ணியின் வரிவடிவ அமைப்பு.

A-நேர்மின்வாய்; B-எதிர்மின்வாய்; C-கண்ணாடி; R-மின்தடை.

செயற்படுகிறது. மின்கலம் கொண்டு கலனுக்கும் கம்பிக்கு மிடையே சுமார் 1000 முதல் 3000 வோல்ட்வரை மின்னழுத்த வேறுபாடு செயற்படுகிறது. குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தில் இம் மின்னழுத்தம், மின்னிறக்கம் உண்டுபண்ணுவதற்குச் சற்றுக் கீழாக உள்ளது.

கைகர் எண்ணியில், கதிர்கள் அல்லது துகள்களால் உண்டாக்கப்படும் அயனிகளால் மின்னோட்டம் துவக்கப்படுகிறது. அயனிகள் ஒன்றுசேருவதைத் தடுக்கும் அளவுக்கு

வலிவுள்ளதும், வாயுவின் மின்கடத்தாத் தன்மை மீறிப்போகாத அளவுக்கு வலிவற்றதுமான ஒரு மின்புலம், உருளைக்கும் கம்பிக்கும் இடைப்பட்ட பகுதியிலிருந்து அயனிகளைத் தள்ளி விடுகிறது. இந்த மின்புலத்தின் செறிவு அதிகமாக்கப்பட்டால், ஒரு மின்னூட்டம் நுழைந்தவுடன் ஒரு மின்னிறக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது. ஒரு துகள் நுழைந்தவுடன் அது உண்டு பண்ணும் அயனிகள் வாயு மூலக்கூறுகளுடன் மோதி, ஏராள மான அயனிகளை நொடிப் பொழுதில் (சுமார் 10^{-4} செகண்டில்) உண்டாக்குகின்றன. நேர்மின்வாய்க்கு அருகிலுள்ள செறிவுமிக்க மின்புலத்தில், பின்வரு அயனிகள் (Secondary ions) மேலும் அயனிகளை உண்டாக்குகின்றன. இவ்வாறு நொடிப் பொழுதில் கோடிக்கணக்கான அயனிகள் உண்டாக்கப்படுவதால் திடீரென மின்னிறக்கம் உண்டாகிறது. இத் துடிப்பு-மின்னிறக்கம் மின் தடை வழியாகப் பாய்வதால் ஏற்படும் மின்னழுத்தம் வால்வுச் சுற்றுகளால் பெருக்கப்பட்டு, கணிப்பான்களை இயக்குகிறது. இவ்வாறு தனித்தனித் துகள் வருவதை, இக் கணிப்பான் அளந்து காட்டுகிறது. மின்துடிப்புப் பாயும்பொழுது, அயனி கள் மின்துருவங்களுக்கு இழுத்துச் செல்லப்பட்டுவிடுவதால், அடுத்த துகள் வருவதைக் கணிக்கக் கருவி தயாராகிவிடுகிறது. இவ்வாறு, இக்கணிப்பான் தானே இயங்கும் துப்பாக்கி போலச் செயற்படுகிறது.

ஒற்றையணு அல்லது இரட்டையணு வாயு நிரப்பப்பட்ட குழாய்களில், அயனிகள் உருளையை நோக்கிச் சென்று, அங்கு எலெக்ட்ரான்களுடன் இணைந்து கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்களா கவோ மூலக்கூறுகளாகவோ மாறுகின்றன. இந்த அணுக்கள் வெளியிடும் ஃபோட்டான்கள் உருளையிலிருந்து ஒளி எலெக்ட்ரான் களை வெளியிடச் செய்வதால் குழாயில் தொடர்ந்து மின்னிறக்கம் ஏற்படுகிறது. அடுத்தடுத்த துகள் வருவதற்கான இடை வேளைக்குள், எதிர்மின்வாயிலிருந்து பின்வரு எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுத்தப்பட்டால், குழாயின் மின்னழுத்தம் மிகக் குறை வாகி, வாயுப் பெருக்கம் ஏற்படாது. இதற்காக வாயுவுடன் சிறிதளவு ஈதைல் ஆல்கஹால் (Ethyl alchocol), ஈதைல் பார்மேட் (Ethyl Phormate), புரோமைன் (Bromine) அல்லது குளோரின் கலக்கப்படுகிறது. இவை நேர்மின்வாயிலிருந்து வெளிப்படும் ஃபோட்டான்களை உட்கவருகின்றன; எனவே, அவை எதிர்மின் வாயைச் சென்றடைவதோ அல்லது ஒளி எலெக்ட்ரான்களை வெளிப்படுத்துவதோ இல்லை. ஆனால், இத்தகைய வாயுக்களின் வேதியியல் தன்மை சீக்கிரம் மாறிவிடுவதால், இத்தகைய வாயு

அடைக்கப்பட்ட குழாய்களை உபயோகிக்கக்கூடிய நேரமும் குறைவாகவே இருக்கும்.

ஆகவே, கைகர்-முல்லர் எண்ணிகளில், கணிப்புகளுக்கு இடையில், மின்னிறக்கம் தணிக்கப்பட (quench) வேண்டும். தணிப்பதற்கும், மின்வாய்களுக்கிடையே மின்னழுத்தத்தை அதிகரிப்பதற்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரம் தேவைப்படுவதால், எப்போதும் கணிப்புகளுக்கிடையே பாழ்நேரம் (dead beat) ஆகிறது. இது 10^{-4} செகண்டு அளவில் இருக்கும். குறைந்த செறிவுள்ள கதிர்களுக்கு G-M எண்ணிகள் சிறப்பாகச் செயற்படுகின்றன. கதிர்களின் செறிவு மிக அதிகமாக இருந்தால், அடுத்தடுத்த அயனியாக்க நிகழ்ச்சிகளுக்கு ஆகும் நேரம், பாழ் நேரத்தைவிடக் குறைவாக இருப்பதால் G-M எண்ணி சரிவரச் செயற்படாது.

கைகர்-முல்லர் எண்ணிகளில், ஆற்றல் அதிகமுள்ள துகள்கள் கலனின் சுவரை ஊடுருவிச் சென்றுவிடும். ஆனால், ஆற்றல் குறைவாக உள்ள துகள்கள் உட்புகா; அவை கண்ணாடியால் தடுக்கப்படுகின்றன. ஆகவே, அவற்றை அளக்க, சன்னமான தடிப்புக்கொண்ட சன்னல், கலனின் சுவரில் அமைக்கப்படுகிறது. இச் சன்னல்கள் கட்புலனாகாதவையாக (invisible) இருக்கும். இவற்றின் தடிப்பு சாதாரணமாக 3 மில்லிகிராம்/ சதுர சென்டிமீட்டர் என்ற அளவில் இருக்கும். பொதுவாக, மைகா (mica) இதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

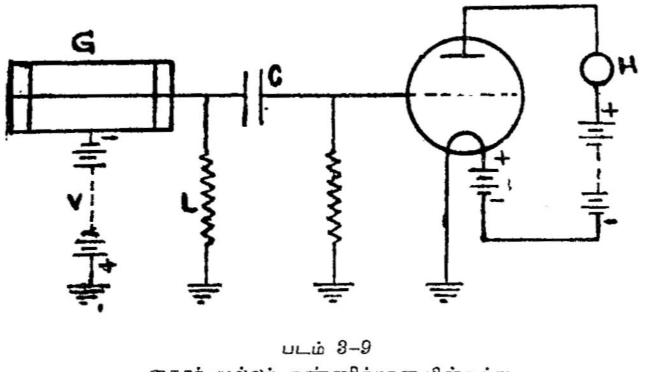
கைகர் - முல்லர் எண்ணியில் அதன் தேவைக்கேற்ப அதனுள் நிரப்பப்படும். வாயுவும், வெளி மின்வாயின் அமைப்பும் மாறுபடுகின்றன. தூய்மைக் கேட்டுப் பின்னணியைக் (Contamination background) குறைக்கும் பொருட்டு குறைந்த அளவு உலோகத்தைக்கொண்டு குழாய் செய்யப்படுகிறது. எனினும், காமாக் கதிர்களைக் கண்டுணர அதிகக் கனமுள்ள சுவர்களைக்கொண்ட குழாய் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் சுவர்களிலிருந்து உண்டாக்கப்படும் இரண்டாம் நிலை எலெக்ட்ரான்கள் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. வளி அழுத்தத்தில் இயங்கும் மெல்லிய சுவர் கொண்ட கணிப்பான்களைக்கொண்டு ஆல்ஃபாத் துகள் அல்லது புரோட்டான் போன்ற கனமான துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றன. நியூட்ரான்களைக் கண்டுணரக் குழாய், ஹைட்ரஜனால் நிரப்பப்படுகிறது. இதில் நியூட்ரான்களின் மோதலால் ஏற்படும் புரோட்டான்கள் அயனியாக்கத்தைத் தூண்டுகின்றன. வெள்ளியால் செய்யப்பட்ட

குழாயால். இன்னும் எளிதாக நியூட்ரான்கள் கண்டுணரப்படுகின்றன.

அடுத்தடுத்து வரும் துகள்களைத் தனித்தனியே பதிவு செய்வதற்கான வழிமுறைகள் வகுக்கப்பட்டுள்ளன. கணிப்பானின் பிரிதிறன் (resolution) மின்போக்குக் காலத்தையும், இயல்பான நிலைக்கு மீண்டும் திரும்புவதற்காக எடுத்துக்கொள்ளும் காலத்தையும் பொறுத்திருக்கிறது. இவ்விரு கால அளவுகள் மின் ஏற்பி, கசிவு மின்தடை ஆகிய பலவற்றின் மதிப்புகளையும் பொறுத்திருக்கிறது. கால அளவுகள் குறையும்போது பிரிதிறன் அதிகரிக்கிறது.

முதலில் உருவாக்கப்பட்ட கணிப்பான்களில், கம்பி மின் வாயுடன் ஓர் எலெக்ட்ராமீட்டர் இணைக்கப்பட்டு, எலெக்ட்ரா மீட்டரிலுள்ள நூலின் இடப்பெயர்ச்சியைக்கொண்டு துகள்கள் எண்ணப்பட்டன. ஆனால், விரைந்து வரும் துகள்களை இம் முறையால் சரிவர எண்ண முடியவில்லை. ரேடியோ நுட்ப அறிவு (radio technology) வளர்ந்த பின்னர் கணிப்பான்களுடன் வெற்றிடக் குழாய் மின்சுற்றுகள் பொருத்தப்பட்டு மிக விரைவாக வரும் துகள்களையும் எண்ணுவதற்கேற்ப உருவாக்கப்படுகின்றன.

அடுத்தடுத்து விரைவாக வரும் துகள்களை எண்ணுவதற்கேற்ற மின்குழாய்ச் சுற்றுகள் அமைக்கப்பட்ட கணிப்பானைப்



படம் 3–9

கைகர்–முல்லர் எண்ணிக்கான மின்சுற்று

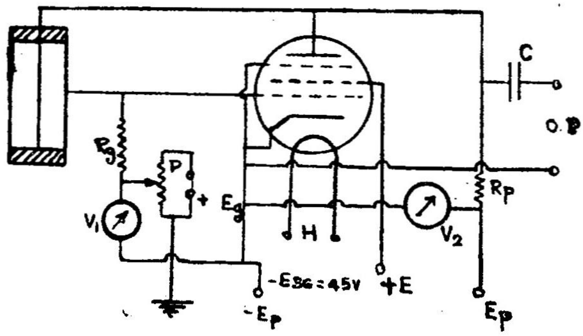
G–எண்ணி; V–உயர் மின்னழுத்தம்; L–கசிவு மின்தடை; H–ஒலிப்பான்; C-மின்தேக்கி.

படம் 3-9-ல் காணலாம். நேர்மின்வாயான நடுக்கம்பி ஒரு டிரையோடு பெருக்கிக் குழாயின் இடை வாயுடன் C-என்ற

மின்னேற்பியின் வழியாக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கசிவு மின் தடையின் மதிப்பு சுமார் 5000 மெக்ஓம் அளவில் இருக்கும். இடைவாயை முனைப்படுத்துவதற்காக (polarise) ஒரு சிறிய மின்தடை, இடைவாய்க்கும் மின்னேற்பிக்கும் நடுவில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கணிப்பானின் ஒவ்வொரு மின்போக்கின் போதும் ஏற்படும் கண நேர மின்னோட்டம் நேர்மின்வாய்ச் சுற்றிலுள்ள ஓர் ஒலிப்பானை இயக்கும் அளவிற்கு மின் குழாயில் பெருக்கப்படுகிறது. எனவே, ஒவ்வொரு மின்போக்கின்போதும் ஓர் ஒலி கேட்கிறது. ஒலியைக் கேட்பதன் மூலம் துகள்களை எளிதில் எண்ணலாம்.

நடைமுறையில் மேற்கூறிய மின்குழாயிலிருந்து கிடைக்கும் மின்னோட்டம் இரண்டாம் நிலை மின்குழாய்ப் பெருக்கியால் மேலும் பெருக்கப்படுகிறது. இத்தகைய அமைப்பைக் கொண்டு நிமிடத்திற்கு 3000 கணத் தாக்குதல்கள் (impulse) வீதம் எண்ண முடிகிறது. கசிவு மின்தடையின் உயர்ந்த மதிப்பு, சுற்றின் கால எண்ணை (time constant) அதிகரித்துக் கணிப்பு வேகத்திற்கு ஓர் உச்சவரம்பை ஏற்படுத்துகிறது.

நெஹர்-ஹார்ப்பர் சுற்று: நெஹர், ஹார்ப்பர் (Neher and Harper) என்னும் இரு விஞ்ஞானிகளும் 1936-ல் ஒரு புதிய மின் குழாய்ச் சுற்றை அமைத்தனர். இது நெஹர்-ஹார்ப்பர் சுற்று எனப்படுகிறது. இது கணத்தாக்குகளைப் பெருக்குவதோடு



படம் 3-10
கைகர்-முல்லர் எண்ணியுடன் இணைக்கப்படும்
நெஹர்-ஹார்ப்பர் மின் சுற்று.

பிரிதிறனையும் பெருமளவுக்கு உயர்த்தியது. இச் சுற்று படம் 3-10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. 'கணிப்பானின் கம்பி

மின்வாய் ஒரு பென்டோடுடன் இணைக்கப்பட்டு (pentode), அதிக மின்னழுத்தத்திற்கு உயர்த்தப்படுகிறது. வெளி உருளை மின்வாய்க் கிரிட்டுடன் இணைக்கப்படுகிறது. கம்பிக்கும் பெருக்கிக்கும் செலுத்தப்படும் உயர் மின்னழுத்தம் நிலைமின் வோல்ட் மீட்டர் (V_2) ஆல் அளக்கப்படுகிறது. கிரிட் மின்தடை R_g, 1 முதல் 10 மெக்ஓம் அளவில் வேறுபடும். R_p-இல் 2 மெக்ஓம் மின்தடை செயற்படுகிறது. திரைகிரிடு மின்னழுத்தம் 45 வோல்ட் அளவில் நிலையாக இருக்கிறது. வெளிவிடப்படும் கணத்தாக்குதல்களை மற்றொரு குழாய்ச் சுற்றால் மேலும் பெருக்கிப் பதிவு செய்யலாம். 5000 மெக்ஓம்கள் தேவைப்படும் சாதாரண மின்சுற்றைவிட 1 முதல் 10 மெக்ஓம் அளவே மின்தடை தேவைப்படும் நெஹர்-ஹார்ப்பர் சுற்று, இக் குறைந்த மின்தடை மதிப்பின் காரணமாக நிமிடத்திற்கு 200,000 துகள்களை எண்ணக்கூடியதாக இருக்கிறது. ஆனால், பல காரணங்களை முன்னிட்டு நடைமுறையில் 10,000 துகள்களைத்தான் எண்ணலாம்.

வின் வில்லியம்ஸ் கணிப்பான் சுற்று : இயந்திரவியல் சார்ந்த எந்த அளக்கும் கருவியாலும் (mechanical meter) அதனுடன் உள்ள நிலைமம் (inertia) காரணமாக, நெஹர் ஹார்ப்பர் சுற்றின் வேகத்திற்கு ஈடுகொடுக்க இயலாது. அந்த அளவு வேகமாக எண்ணிக்கையைப் பதிவு செய்ய இயலாது. ஆனால், வின் வில்லியம்ஸ் என்பவரால் அமைக்கப்பட்ட 'வின் வில்லியம்ஸ் கணிப்பான் சுற்று' (Wynn Williams Scaling Circuit) இந்த இடர்ப்பாட்டை நீக்கிவிட்டது. இச் சுற்றுகளைக் கொண்டு ஒவ்வொரு 2, 4 அல்லது 8 கணத்தாக்குதல்களுக்கு ஒன்று வீதம் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. பதிவு செய்ய இயலாத அளவுக்கு இரண்டு கணத்தாக்குதல்கள் அடுத்தடுத்து விரைவாக வாரா; ஆகையால், இந்தச் சுற்று நல்ல பலன் தருகிறது.

வின் வில்லியம்ஸின் மின்சுற்றில், வேகமாக வரும் துகள்களுக்கும், மெதுவாக இயங்கும் பதிவு செய்யும் கருவிக்கும் இடையில் நிலைமமற்ற அஞ்சல்களாக (inertialess relays) தைரட்ரான்கள் (thyratron) அமைக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே, துகள்களை எண்ணும் வேகம், பதிவு செய்யும் கருவியின் நிலைமத்தைச் சார்ந்திராமல் மின்சுற்றின் மின்னியல் பண்புகளை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது.

ஓரிரு அயனி-இரட்டைகள் முழு மின்னிறக்கத்தை, துடிப்புகளின் வெளிவரு அளவு மிக அதிகமாக இருப்பதாலும் கைகர்-

முல்லர் எண்ணிகள் நல்ல உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்தவையாகத் திகழ்கின்றன. தற்காலத்தில் வழக்கில் இருக்கும் கைகர்-முல்லர் கணிப்பான்கள் எல்லா விதக் கதிர்வீச்சுகளையும் கண்டு பிடிப்பதற்கு ஏற்றவாறு மாற்றியமைத்துக்கொள்ளக்கூடியவை யாக இருக்கின்றன. இவை மிக்க பெருக்குந்திறனையும், பிரி திறனையும் (resolving power) பெற்றிருக்கின்றன.

கலோரி மீட்டர்

வெப்பத்தை அளக்கப் பயன்படுவது கலோரி மீட்டர். கதிரியக்க ஆற்றல் வெப்பமாக வெளியிடப்படும்போது, அதனை அளக்கக் கலோரி மீட்டர் பயன்படுகிறது. ஆல்ஃபா, பீட்டாத் துகள்கள் வெளிப்படும்போது, அத்தகைய கதிர்வீச்சுகளின் முழு ஆற்றலையும் உட்கவருவது எளிதாக இருப்பதால், அவற்றை அளக்கக் கலோரி மீட்டர் பயன்படுகிறது. முழு ஆற்றலையும் உட்கவர இயலாததால், காமாக் கதிர்களுக்குக் கலோரி மீட்டர் பயன்படுத்தப்படுவதில்லை. கலோரி மீட்டருக்குள் வெப்பத்தின் தோற்றுவாய் போடப்பட்டு, அதிலிருந்து வெளிப் படும் ஆற்றல் ஏதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில் கணக்கிடப் படுகிறது. வெப்பம்-மாறு (adiabatic) முறையில், ஆற்றல் உட்கவரப்படும்போது வெப்ப நிலை அதிகரிக்கிறது. உள்ளிருக் கும் கலோரி மீட்டரிலிருந்து அதனைச் சுற்றியிருக்கும் வெளி யுறைக்கு வெப்பம் போகாமலிருக்க, வேறொரு வெப்பத் தோற்றுவாயால் வெளியுறையின் வெப்ப நிலை அதிகரிக்கப்படு கிறது. இந்த நிலையில், கலோரி மீட்டருக்குக் கிடைத்த மொத்த ஆற்றல் E, அதன் வெப்ப ஏற்புத்திறன் C, வெப்ப நிலை மாற்றம் $\triangle T$ ஆகியவற்றின் தொடர்பை,

$$E=C\triangle T$$

என்ற தொடரின் மூலம் அறியலாம். வெப்ப நிலை—மாறு (isothermal) வகையில், சுற்றிலும் நீரை ஓடவிட்டு அல்லது வேறு முறையில் வெளியுறைக்கும் உட்கலத்திற்கும் வெப்பச் சமநிலை உண்டாக்கப்படுகிறது.

1910ஆம் ஆண்டு H. L. காலண்டர் (Calendar) என்னும் விஞ்ஞானி பெல்டியர் குளிரும் விளைவைப் (Peltier cooling effect) பயன்படுத்தும் முறையை அறிமுகப்படுத்தினார். இதன்படி, ஒரு சிறு கிண்ணம் அல்லது தட்டின்மேல் படும் ஆற்றல் அதனோடு இணைக்கப்பட்டுள்ள பெல்டியர் சந்தி (peltier junction) விளைவிக்கும் குளிர்ச்சியால் சரியீடு செய்யப்படுகிறது.

வேறுபாடு காட்டும் இரட்டைக் கலோரி மீட்டர் வகையில் (twin-differential type calorimeter) ஒரே மாதிரியான இரு கலோரிமீட்டர்கள் உள்ளன. ஒன்றில் 'ஆற்றல் தெரியாதது' உள்ளது. மற்றொன்றில், தக்கவாறு அமைத்துக்கொள்ளத் தக்க, அளவீடு செய்யப்பட்ட மின் சூடேற்றி உள்ளது. முதலில் இரண்டுக்குமிடையே வெப்ப நிலையில் வேறுபாடு இல்லாதவாறு மின்சூடேற்றி சரிசெய்யப்படுகிறது. இதன் பின்னர், தெரியாத வெப்பத் தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிப்படும் ஆற்றல், சூடேற்றி யிலிருந்து வெளிப்படும் மின்சக்திக்குச் சமமாக இருக்கும்.

மற்ற கதிரியக்கக் கண்டுணர் கருவிகளுக்குத் தேவைப்படு வதைப் போன்ற சிக்கலான எலெக்ட்ரானிக் கருவிகள் இதற்குத் தேவையில்லை. இவை எளிமையாக இருப்பதோடு, துல்லிய மாகவும் கணக்கிடுகின்றன. இக் கணக்கீடுகளில் திருத்தங்களும் தேவைப்படுவதில்லை. எனினும், வெளிவரு வெப்பத்திற்கும் சிதைவு பெறும் வீதத்திற்கும் உள்ள தொடர்பை அறிய ஆல்ஃபா, பீட்டாத் துகள்களின் ஆற்றல் முன்னரே தெரிந் திருக்க வேண்டும். அடிப்படையான தொடர்புகளாவன :

$$1\ \text{MeV} = 1{\cdot}602 \times 10^{-6}\ \text{எர்க்}$$

$$Q\ \text{வாட்ஸ்} = 1{\cdot}602 \times 10^{-13}\ N\bar{E}$$

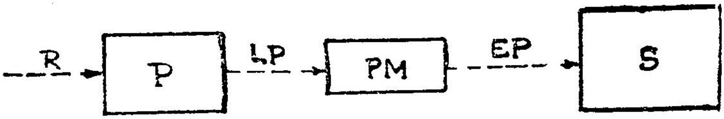
(இதில் N என்பது, ஒரு செகண்டில் நடைபெறும் நிகழ்ச்சிகளை யும், $\bar{E}$ என்பது, சராசரி ஆற்றலையும் குறிக்கும்.)

சுடர்க் கணிப்பான்

கதிரியக்கத்தைக் கண்டுணர்வதற்காக ஆரம்ப காலத்தில் உருவாக்கப்பட்ட கருவிகளுள் 'ஸ்பிந்தாரிஸ்கோப்' (Spinthariscope) என்பது ஒன்று. இதனைக் க்ரூக்ஸ் (W. Crooks) என்ற விஞ்ஞானி 1903ஆம் ஆண்டு அமைத்தார். துத்தநாக சல்ஃபைடு (zinc sulphide) பூசப்பட்ட ஒரு திரையில் ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் படும்படி செய்தால் திரை ஒளிர்கிறது. ஓர் இருண்ட அறை யில், நுண்ணோக்கியால் நோக்கினால், திரையில் பல சுடர் புள்ளி களைக் காணலாம். ஒவ்வோர் ஒளிப்புள்ளியும் (flash), ஓர் ஆல்ஃபாத் துகள் துத்தநாகச் சல்ஃபைடில் மோதுவதால் உண்டாவதாகும். எனவே, இந்த ஸ்பிந்தாரிஸ்கோப் ஆல்ஃபாத் துகளை எண்ணுவதற்கேற்ற ஒரு நுட்பமான கருவியாக அமைந் தது. இதன் எண்ணிக்கை வேகம் மிகக்குறைவாகவும், நடை முறையில் கடினமாகவும் இருந்ததால் வேறு கருவிகள் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட பின்னர், ஸ்பிந்தாரிஸ்கோப்புகள் பயன்படுத்தப்

படவில்லை. ஸ்பிந்தாரிஸ்கோப்பின் அடிப்படையில், அதாவது துகள்களின் ஆற்றல் ஒளியாக மாற்றப்படுவதன் அடிப்படையில், நவீன சுடர்க் கணிப்பான்கள் (scintillation counters) உருவாக்கப்பட்டுள்ளன.

1947ஆம் ஆண்டு அமெரிக்காவைச் சேர்ந்த மார்ஷல், கோல்ட்மன் (Marshall & Coltman) ஆகியோரும் ஜெர்மனியைச் சேர்ந்த கால்மன் (Kallman) என்பவரும் சேர்ந்து ஒரு புதிய முறையை அறிமுகப்படுத்தினார்கள். இதன்படி ஒளித்திரையிலுள்ள ஒளிப்புள்ளிகள் ஒரு பெருக்கி—ஒளிமின் குழாயால் (photo-multiplier tube) கண்டுணரப்படுகின்றன. வெளிவரும் மின் கணத்தாக்குதல்கள் பெருக்கப்பட்டுப் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. பெருக்கி ஒளிமின் குழாய்கள் மிக மங்கிய ஒளிப்புள்ளிகளையும் எளிதில் கண்டுணர்வதோடு அவற்றை மின்துடிப்புகளாகவும் மாற்றிவிடுவதால், சுடர்க் கணிப்பான்களைக்கொண்டு செகண்டுக்குக் கோடிக்கணக்கான எண்ணிக்கை வீதத்தைப் பெறலாம்.



படம் 3–11
சுடர்க் கணிப்பான்

R-படுகதிர் ; P-பாஸ்பர் ; LP-ஒளித் துடிப்பு ;
PM-பெருக்கி ஒளிமின் குழாய் ; EP-மின் துடிப்பு ; S-அளவிடும் கருவி.

ஒரு முழுமையான சுடர்க் கணிப்பானுக்கு (படம் 3-11) மூன்று முக்கியமான பாகங்கள் தேவைப்படுகின்றன. அவையாவன :

(i) சுடர்விடும் பொருள் அல்லது பாஸ்பர் (phosphor). மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் இதன் வழியே செல்லும்போது ஒரு திடீரொளியை உருவாக்குகிறது.

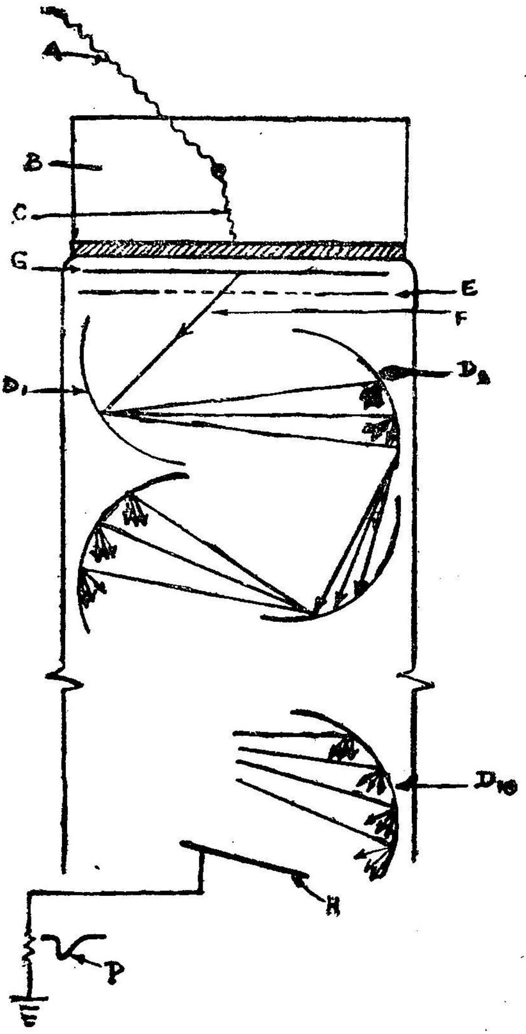
(2) பெருக்கி—ஒளிமின் குழாய். இது திடீரொளியைக் கண்டுணர்ந்து மின்துடிப்புகளை உருவாக்குகிறது.

(3) வெளிவரும் மின்துடிப்புகளைப் பதிவுசெய்து எண்ணுவதற்கேற்ற பெருக்கிகளும், எலெக்ட்ரானிக் மின் சுற்றுகளும்.

பாஸ்பர்: பாஸ்பரால் வெளிவிடப்படும் திடீரொளியின் நேரம் மிகக்குறைவானது. இதன் பிரிதிறன் நேரம், 10^{-10} செகண்டு போன்ற மிகக்குறைந்த அளவுள்ளது. இதனால் தான் கைகர்-கணிப்பான்களைவிடச் சுடர்க் கணிப்பான்கள் திறமை வாய்ந்தவையாக இருக்கின்றன.

தேவைக்கேற்ற பாஸ்பரைக் கண்டுபிடிப்பதற்காகப் பல்வேறு ஆய்வுகள் நிகழ்த்தப்பட்டுள்ளன. ஆல்ஃபாத் துகள்களையும், புரோட்டான்களையும் கண்டுணர சீசியம் அயோடைடு (caesium iodide) படிகங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதில் சிறிதளவு தாலியம் (thalium) சேர்க்கப்பட்டால் இன்னும் சிறந்த விளைவுகள் கிடைக்கின்றன. இவ்வாறு சேர்க்கப்படும் செயலூக்கி (activator) எனப்படுகிறது. படிக அணுக்களில் கலப்பு ஏற்பட்டவுடன் சுடர்விடும் தன்மை அதிகரிக்கிறது. பீட்டாத் துகள்களைக் கண்டுணர அன்த்ராசீன், ஸ்டில்பீன் (antharcene, stilbene) போன்றவையும் பல பிளாஸ்டிக் பாஸ்பர்களும் பல்வேறு அளவுகளிலும் வடிவங்களிலும் உள்ளன. தாலியத்தால் செயலூக்கம் பெற்ற சோடியம் அயோடைடு (sodium iodide) காமாக் கதிர்களைக் கண்டுணரப் பயன்படுகிறது. சுத்தமான சோடியம் அயோடைடு 3000Å (ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு) அளவிலான ஃபோட்டான்களை வெளிவிடுகிறது. அதில் 0·1 சதவீதத்தில் தாலியம் கலக்கப்பட்டவுடன் அது 4300Å அளவிலான ஃபோட்டான்களை வெளிவிடுகிறது. இந்த அளவு, ஒளிமின் குழாய்களின் எதிர்மின்வாயுடன் ஒத்தியலக்கூடிய அளவாக இருக்கிறது. காமாக் கதிர்களுக்கு ஊடுருவும் தன்மை அதிகமாக இருப்பதால், பெரிய படிகங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பொதுவாக, 12 செ.மீ. நீளமுள்ள படிகங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பாஸ்பர்கள் வெளிவிடும் திடீரொளியின் அளவு அவை உட்கவரும் ஆற்றலுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். இதனால் ஆற்றல் பகிர்வை ஆராய எளிதாக உள்ளது.

சுடர்க் கணிப்பானின் வரிவடிவ அமைப்பு படம் 3-12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் பாஸ்பரில் பட்டவுடன் அதிலுள்ள அணு கிளர்ச்சியடைகிறது. இதன் காரணமாகப் ஃபோட்டான்கள் வெளிப்படுகின்றன. இழந்த துகள்களைப் பொறுத்து ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கை இருக்கும். திடீரொளியை வெறுங்கண்ணால் பார்க்க முடியாது. இத் திடீரொளியைக் கண்டுணர உணர்வுமிக்க பெருக்கி—ஒளிமின் குழாய்கள் உள்ளன.



படம் 3-12

காமாக் கதிர்களைக் கண்டறியும் சுடர்க் கணிப்பான்.

A-காமாக் கதிர்; **B**-பாஸ்பர்; **C**-ஃபோட்டான்; **E**-குவிக்கும் மின்வாய்; **F**-ஒளி எலெக்ட்ரான்; **G**-ஒளி எதிர்மின்வாய்; D_1, D_2, D_{10}-டைனோடுகள்; **H**-நேர்மின்வாய்; **P**-வெளிவரு மின்னழுத்தத் துடிப்பு.

பாஸ்பரிலிருந்து வெளிப்படும் ஃபோட்டான்கள், பெருக்கி-ஒளிமின் குழாயிலுள்ள எதிர்மின்வாயில் பட்டு ஒளிமின் விளைவை ஏற்படுத்துகின்றன. ஒரு ஃபோட்டான் பட்டவுடன் எதிர்மின்வாயிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுகிறது. எதிர்மின்வாயிலிருந்து வெளிப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, அதில் படும் ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதால், உள்ளே வரும் துகளின் ஆற்றலுக்கும் நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். இந்த எலெக்ட்ரான்கள் முதல் டைனோடு (dynode) D_1-ஐ நோக்கி முடுக்கப்படுகின்றன.

டைனோடில் ஓர் எலெக்ட்ரான் பட்டவுடன் அது ஏராளமான இரண்டாம் நிலை (secondary) எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகிறது. மின்வாய்களின் பரப்பைப் பொறுத்தும், மின்னழுத்த வேறுபாட்டைப் பொறுத்தும் இரண்டாம் நிலை எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அமைகிறது. சாதாரணமாக, ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கு நான்கு இரண்டாம் நிலை எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுமாறு அமைக்கப்படுகிறது. D_1-லிருந்து இரண்டாவது டைனோடான D_2-க்கு எலெக்ட்ரான்கள் முடுக்கப்பட்டு அவற்றின் எண்ணிக்கை மேலும் அதிகரிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறாக ஒரு பெருக்கி-ஒளிமின் குழாயின் பத்துப் பன்னிரண்டு டைனோடுகள் அமைக்கப்பட்டு எலெக்ட்ரான்கள் எண்ணிக்கை பெருக்கப்படுகிறது. உதாரணமாக, வெளியீடு வீதம் நாலாக இருந்து, பதினொரு டைனோடுகள் இருந்தால், இறுதியில் 4^{10} எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன. ஆகவே, குழாயில் முதலில் படும் ஒரு தனி எலெக்ட்ரானுக்கு இறுதி டைனோடிலிருந்து கண்டுணரத்தக்க அளவுக்கு மின்துடிப்பு வெளிப்படுகிறது.

இந்த மின்துடிப்பு, பெருக்கிகளால் மேலும் பெருக்கப்பட்டுப் பதிவு செய்யப்படுகின்றது. இதற்கு, மேலும் பல எலெக்ட்ரானிக் கருவிகளும், மின் சுற்றுகளும் தேவைப்படுகின்றன. இவ்வாறாக, சுடர்க் கணிப்பான் ஓர் எளிமையான கருவி அல்ல; எனினும், அதன் பிரிதிறன் நேரம் மிகக்குறைவானது. 10^{-6} செகண்டு அளவில் அடுத்தடுத்து வரும் துகள்களை அதனால் எண்ண முடியும். மேலும், தனித்தனி துகள்களின் ஆற்றலையும் இதனைக்கொண்டு கணக்கிட முடியும்.

திரவ-சுடர்க் கணிப்பான்

புதிதாக அமைக்கப்பட்டிருக்கும் மற்றொரு கருவி திரவ-சுடர்க் கணிப்பான் (liquid scintillation counter). இதில், கதிரியக்கப்

பொருளின் மாதிரி, பாஸ்பருடன் சேர்த்து ஒரு கரைசலில் கரைக்கப்படுகிறது. கரைப்பான், அயனியாக்கம் செய்யும் கதிர் வீச்சின் ஆற்றலை ஏற்று, அந்த ஆற்றலைப் பாஸ்பருக்கு மாற்றி விடுகிறது. டோலுான் (Tolune), சைலீன் (xylene), ஈதர் போன்றவை கரைப்பான்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பாஸ்பர்கள், நிறமாலையில் புற ஊதாப் பரப்பில் ஒளிரும் தன்மை வாய்ந்தவையாக இருப்பதால், அவற்றுடன் அலைநீளத்தை மாற்றக்கூடிய இரண்டாவது பாஸ்பரும் கரைசலில் சேர்க்கப் படுகிறது. இதனால், நிறமாலையின் எந்தப் பகுதியில் சுடர் ஆற்றல் குவிக்கப்பட்டால் ஒளிமின் குழாயால் திறமையாகக் கண்டுணர முடியுமோ, அப் பகுதிக்கு ஏற்ற அலைநீளம் கிடைக் கிறது. ஒரு லிட்டர் கரைப்பானில் 5 முதல் 10 கிராம் வரை முதல் நிலை பாஸ்பரும், சுமார் 1 கிராம் இரண்டாம் நிலைப் பாஸ்பரும் கலக்கப்படுகின்றன.

வேறு முறைகளால் கண்டுபிடிக்க இயலாதவை, திரவ சுடர்க் கணிப்பான்களைக்கொண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. சின்க்ரோ-சைக்ளோட்ரான் (synchro cyclotron) போன்ற நவீன துகள் முடுக்கிகளிலிருந்து பெறப்படும், வேகமாகச் செல்லும் மின்னூட்டங்களின் ஆற்றல் நிறமாலைகளை அளவிட இது மிகவும் பயன்படுகிறது.

முகிற்கலன்

கதிரியக்கக் கண்டுணர் கருவிகளின் வரிசையில் 'முகிற் கலன்' (cloud chamber) சிறப்பான இடத்தைப் பெறுகிறது. இக் கலனைக்கொண்டு அயனிக்கும் துகள்கள் ஆராயப்பட்டு அரிய முடிவுகள் பெறப்பட்டுள்ளன. இதனைக்கொண்டு தனித் தனி துகள்களின் பாதையைப் படம் பிடிக்கலாம். செயற்கைத் தனிம மாற்றத்தில், அணுக்கள் உடைக்கப்படும்போது அவற்றின் துண்டுகள் செல்லும் பாதைகளைத் தனித்தனியே காண இது உதவுகிறது. சோதனை முடிவுகளைப் படம் பிடிக்க முடிவதால், ஆய்வாளர்களுக்கு அது ஒரு நல்ல நிரூபணமாக விளங்குகிறது. மேலும், ஒரே சமயத்தில் இது பலதரப்பட்ட முடிவுகளையும் தரவல்லதாக இருக்கிறது. எத்தனை துண்டுகள் உருவாக்கப்படுகின்றன, அவை எந்தெந்தத் திசைகளில் செல் கின்றன, கலனிலுள்ள வாயுவில் அவை எவ்வளவு தூரம் செல்கின்றன ஆகிய எல்லா விவரங்களையும் முகிற்கலனைக் கொண்டு எடுக்கப்பட்ட ஒரே படத்திலிருந்து தெரிந்து கொள்ளலாம். பாதையின் அளவையும் தோற்றத்தையும்

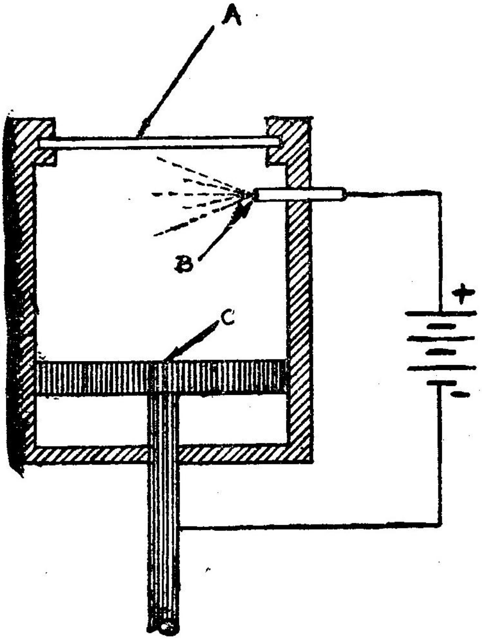
கொண்டு துகளின் தன்மையைத் தீர்மானிக்கலாம். காந்தப் புலம் செயற்படுத்தப்பட்டால், பாதையில் ஏற்படும் வளைவைக் கொண்டு துகளின் ஆற்றலையும் கணக்கிடலாம். இவ்வாறாக, தேர்ச்சியும் திறமையும் கொண்ட விஞ்ஞானியால் இயக்கப் படும் முகிற்கலனைக்கொண்டு கதிரியக்கப் பகுப்பாய்வின் அரிய முடிவுகளைப் பெறலாம்.

ஸ்காட்லாந்தில் பிறந்த சி.டி.ஆர். வில்சனால் 1897-ம் ஆண்டு முகிற்கலனின் அடிப்படைத் தத்துவம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. 1912-ம் ஆண்டு வில்சன் ஒரு முகில் அறையை உருவாக்கினார். இதற்காக 1927-ம் ஆண்டு இவருக்கு நோபல் பரிசு வழங்கப் பட்டது. முகிற்கலனின் அமைப்பு இயக்கம் பற்றிய கவனமான ஆய்வுகள் காரணமாக இன்றைய நவீன ஆய்வுகள் பலவற்றி லும் முகிற்கலன் தொடர்ந்து பயன்பட்டு வருகிறது.

பூமியிலிருந்து நீரைச் சுமந்து செல்லும் காற்று மலையுச் சிக்குச் சென்று மேகமாக மாறுகிறது; இதே போன்ற செயல் வில்சனின் மேகக் கலனிலும் நடைபெறுகிறது. ஒரு கலனி லுள்ள நிறைசெறிவான ஆவியை (saturated vapour) திடீரென விரிவடையச் செய்தால், ஆவி மிகவும் குளிர்வடைந்து (super-cooled) கலனிலுள்ள தூசிகள்மீது நீர்த்திவலைகளாகப் படி கிறது. இது ஒரு மேகம் போலக் கலனில் உருவாகி, மெதுவாகக் கீழே இறங்கிப் படிந்துவிடுகிறது. கலனில் தூசி ஏதுமில்லை என்றால் மேகம் உண்டாவதில்லை. மின்னூட்டம் இல்லாத அணு அல்லது மூலக்கூறுகளின்மீது நீர்த்திவலைகள் படிவ தில்லை. ஆனால், ஆவி மிகக் குளிர்வடையும்போது, கலனில் அயனிகள் இருந்தால் அவற்றின்மீது நீர்த்திவலைகள் உண்டா கும். இந்த உண்மையை வில்சன்தான் முதலில் கண்டுபிடித் தார். ஆகவே, ஆவி விரிவடையும்போது, கலனுக்குள் அயனிக்கும் துகள் ஒன்று பாய்ந்து சென்றால், அதன் பாதையில் உண்டாகும் அயனிகள்மீது நீர்த்திவலைகள் உண்டா கின்றன. இதனைக்கொண்டு துகளின் பாதையைக் காணலாம். பாதையைப் படம் பிடித்தும் ஆராயலாம்.

முகிற்கலனின் மாதிரி அமைப்புப் படம் 3-13-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. ஒரு பக்கம் கண்ணாடியால் மூடப்பட்ட ஒரு பெரிய கலன் உள்ளது. கலனில் வெளிச்சமிருந்தால் கண்ணாடிப் பாகத்தின் வழியாக உள்ளே நடக்கும் நிகழ்ச்சிகளைக் காணலாம்; படம் பிடிக்கவும் செய்யலாம். கலனின் மற்றொரு சுவர் முன்னும் பின்னும் நகரக்கூடிய பிஸ்டனைக (piston) இருக்கிறது.

ஏதாவது ஒரு திரவத்தின் ஆவியைக்கொண்டு கலனிலுள்ள வாயு நிறைசெறிவு நிலை அடையச் செய்யப்படுகிறது. சாதாரணமாக நீருடன் ஆல்கஹாலைக் கலந்து சில துளிகளைத் தெளித்துவிட்டால் அதுவே கலனிலுள்ள காற்றை நிறைசெறிவு ஆவியாக்கிவிடும். ஊடியங்கு உருளைக்குப் பின்னுல்



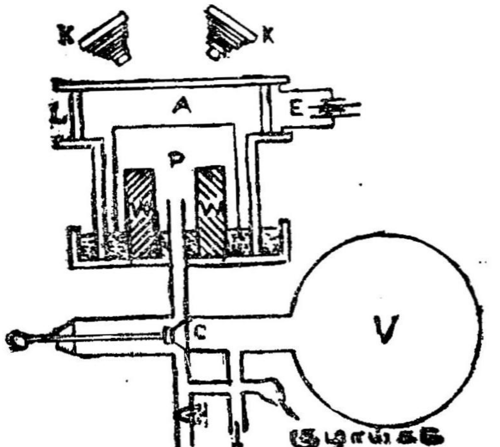
படம் 3-13.
சாதாரணமான முகிற்கலத்தின் அமைப்பு.
A-சன்னல்; B-கதிரியக்கப் பொருள்; C-ஊடியங்கு உருளை.

சிறிது வெற்றிடம் உள்ளது. இடையில் ஒரு வால்வு (valve) இருக்கிறது. வால்வு திறக்கப்பட்டவுடன் கலனுக்குள் அடைக்கப்பட்டிருக்கும் அழுத்தம் மிகுந்த காற்று, வெற்றிடத்திற்குப் பாய்கிறது. ஊடியங்கு உருளை ·005 செகண்டு போன்ற மிகச் சுருங்கிய கால அளவில், விரிவடைதலை முடித்துவிடுகிறது. ஊடியங்கு உருளை நகரும்போது கலனின் கன அளவு திடீரென அதிகரிப்பதால், வெப்பம்—மாறு விரிவின் காரணமாகக் குளிர்வு ஏற்பட்டு, நிறை செறிவு ஆவி மீக்குளிர்வு அடைகிறது. இந் நிலையில், கலனுக்குள் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் சென்று

கொண்டிருந்தால், அதன் பாதையில் உண்டாகும் அயனிகளின் மீது நீர்த்திவலைகள் படிகின்றன.

கலனின் ஒரு பக்கச் சுவர் வழியாக மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் செலுத்தப்படுகின்றன. விரிவடைந்த பிறகு நீர்த் திவலைகள் படிந்த அயனிகளின் பாதை, கண்ணாடிப் பக்கம் வழியாகப் படம் பிடிக்கப்படுகின்றன. படம் பிடித்த பிறகு அயனிகளை நீக்குவதற்காக, கண்ணாடிக்குக் கீழ் உள்ள ஓர் உலோக வளையத்திற்கும் கலனின் அடிப்பாகத்திற்கும் இடையே 100 வோல்ட் அளவிலான மின்னழுத்த வேறுபாடு செலுத்தப் படுகிறது. தொகுபயன் (resultant) மின்புலம் கலனிலுள்ள தன்னிச்சையான அயனிகளை நீக்கிவிடுகிறது.

தனித்தனி துகள்களின் பாதையைக் காணவும் படம் பிடிக்கவும் கூடிய, வில்சனால் உருவாக்கப்பட்ட முகிற்கலனின் மாதிரி படம் 3-14-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் A என்ற கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட உருளை வடிவ அறை, நிறை செறி



படம் 3-14.
வில்சனால் அமைக்கப்பட்ட முகிற்கலத்தின் மாதிரி அமைப்பு.
A—உருளை வடிவ அறை ; P—ஊடியங்கு உருளை ; V—வெற்றிடக் கொள்கலன்
K,K—காமிரா ; C—வால்வு.

வாக்கப்பட்ட காற்றால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. அதன் கீழுள்ள P என்னும் ஊடியங்கு உருளை, வேகமாகக் கீழே இறங்கும் போது அறையிலுள்ள காற்று, வெப்பம்—மாறா விரிவுக்கு

உள்ளாகிறது. C என்ற வால்வைத் திறந்தவுடன் ஊடியங்கு உருளைக்குக் கீழே உள்ள காற்று V என்ற வெற்றிடக் கொள் கலனுக்குள் நுழைகிறது. ஊடியங்கு உருளையின் உயரத்தை மாற்றுவதன் மூலம் விரிவு விகிதத்தை (expansion ratio) மாற்ற லாம். விரிவுக்குப் பின்னர் உடனேயே துகள்கள் அறையினுள் அனுமதிக்கப்படுகின்றன. துகளால் உண்டாக்கப்படும் எல்லா அயனிகள்மீதும் நீர்த்திவலைகள் படிந்து துகளின் பாதையைக் காட்டுகின்றன. அயனிகள் உண்டாகும் நேரத்தில் ஒளி யூட்டினால், துகளின் பாதையை, ஊடியங்கு உருளைக்கு மேல் கருமையான பின்னணியில் சிறிய நீர்த்திவலைகளாலான வெண் கோடாகக் காணலாம். K, K என்ற காமிராக்களைக்கொண்டு பாதையைப் படமெடுக்கலாம்.

முகிற்கலனைக்கொண்டு நல்ல முடிவுகளைப் பெற, துகள்களை அறையினுள் அனுமதித்தல், ஒளியூட்டல், படம் எடுத்தல் ஆகிய செயல்கள் விரைவில் நிகழ்த்தப்பட வேண்டும். இதற்காக வில்சன் 'விழும் எடை'யைக் (falling weight) கொண்ட அமைப்பைப் பயன்படுத்தினார். இந்த விழும் எடை முதலில் வால்வைத் திறந்து விரிவு நடைபெறச் செய்தது. பின்னர், விளக்கை ஏற்றி, காமிராவை இயக்கியது. 1/50 செகண்டு போன்ற மிகச் சுருங்கியகால அளவில் அறை சூடாக்கப் படுவதால், நீர்த்திவலைகள் மறைவதற்கு முன் காட்சிகள் பதிவு செய்யப்பட வேண்டும்.

கலனின் கண்ணாடி வழியாகக் காண்பவர்களுக்கு ஆல்ஃபாத் துகள்களுக்கும் பீட்டாத் துகள்களுக்கும் எளிதில் வேறுபாடு தெரியும். ஓர் ஆல்ஃபாத் துகள் தன் பாதையில் ஓரலகு நீளத்திற்கு, பீட்டாத் துகளைப் போல நூறு மடங்கு அதிக அயனிகளை உண்டுபண்ணுகிறது. ஆல்ஃபாத் துகள் வளி மண்டல அழுத்தத்திலுள்ள காற்றில் ஒரு செ.மீ.க்கு 50,000 அயனிகளை உண்டுபண்ணுகிறது. அதே சூழ்நிலையில் பீட்டாத் துகள் ஒரு செ.மீ.க்கு 50 அயனிகளைத்தான் உண்டுபண்ணுகிறது. எனவே, ஆல்ஃபாத் துகளின் பாதையில் நீர்த்திவலைகள் ஒன்றோ டொன்று சேர்ந்து தொடர்ச்சியான, அடர்ந்த கோடு உண்டா கிறது. புரோட்டான் அவ்வளவு அதிகமான அயனிகளை உண்டு பண்ணுவதில்லை. எனவே, அதன் பாதை மெல்லிய ஆனால், தொடர்ச்சியான கோடாகத் தோன்றுகிறது. எலெக்ட்ரான் மிகச்சில அயனிகளையே உண்டுபண்ணுவதால் அதன் பாதை மிக மெல்லியதாகவும் தொடர்ச்சியற்றும் இருக்கும். தனித்தனி நீர்த்திவலைகளை நுண்ணோக்கி மூலம் காணலாம். காமாக்

கதிருக்கு மின்னூட்டம் இல்லை; எனவே, அதன் பாதையில் தொடர்ச்சியாக அயனிகள் உண்டாவதில்லை. ஆனால், இது வெளியேற்றும் காம்ப்டன் எலெக்ட்ரான்கள் (compton electrons) சிறுசிறு பாதைகளை உண்டுபண்ணும். சில சமயங்களில் காமாக் கதிர் உட்கவரப்பட்டு ஒளி எலெக்ட்ரான்களை வெளி விடலாம். அல்லது காமாக்கதிர் எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான்-இரட்டையாக (positron pair) மாறி இரண்டு பாதைகளைத் தோற்றுவிக்கலாம்.

ஒரு மதிப்புத் தெரிந்த வலிமையுடைய காந்தப் புலத்தைப் படமெடுக்க வேண்டிய துகள்களின் பாதை அமைந்திருக்கும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகச் செயற்படச் செய்தால், மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் விலகி வட்ட வில் பாதையில் (circular arc) செல்லும். வளைவின் ஆரத்தை அளந்து, துகளின் உந்தத்தைக் (momentum) கணக்கிடலாம். துகளின் திசை வேகம் V-ஐ,

$$mv = qBr$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம். (இதில் q என்பது, துகளின் மின்னூட்டம்; B என்பது, காந்தத் தூண்டல்; r என்பது, வட்டப்பாதையின் ஆரம்; m என்பது, நிறை.)

விரிவு நுட்பம்: நவீனப் பொறியியல் அறிவின் காரணமாகப் பல்வேறு வகைகளில் விரிவு ஏற்படுத்தப்படுகிறது. எதிர்ச் செயலாற்றும் (reciprocating) ஓர் ஊடியங்கு உருளையை மின்காந்தத்தாலோ அல்லது உருளைக்குக் கீழுள்ள காற்றின் அழுத்தத்தை மாற்றுவதாலோ இயக்கி, வாயுவைச் சிறிது சிறிதாக அழுத்திப் பின்னர் வேகமாக விரிவடையச் செய்யலாம். மற்றொரு முறையில் ரப்பர்ச் சவ்வு (membrane) கொண்டு அழுத்தம் மாற்றப்படுகிறது. அறையின் வடிவமைப்பை எளிமைப்படுத்துவதாலும், அதனுள் வலைத்திரைகளை அமைப்பதாலும் உள்ளே ஏற்படும் கொந்தளிப்புகள் தவிர்க்கப்படுகின்றன. விரிவு ஏற்படுத்தும் பொறி ஒரு மின்காலத் திட்ட அமைப்பை (electrical timing) கொண்டு இயக்கப்படுகிறது. இந்த அமைப்பு வெப்பச் சமநிலையை ஏற்படுத்துவதற்காகச் சுமார் 30 செகண்டுகள் கொண்ட சீரான கால இடைவேளைகளில் விரிவை ஏற்படுத்துகிறது. இதே அமைப்பு, அறையை ஆரம்ப நிலைக்குத் திருப்புகிறது; மேலும் ஒளியூட்டி காமிராவையும் இயக்குகிறது.

விரிவு விகிதம் : அறையினுள் மீநிறை செறிவாக்கம் (super saturation) செய்யும் வாயு, ஆவி ஆகியவற்றின் மதிப்புத் தெரிந்த மாறிலிகளைக்கொண்டு விரிவு விகிதத்தை மதிப்பிடலாம். எனினும், தெளிவான, கூர்மையான பாதைகளைப் பெறு வதற்காக, விரிவு விகிதம் சோதனை முறைகளாலேயே கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது. காற்றிலுள்ள நீராவிக்கு இவ் விகிதம் 1·25 முதல் 1·38 வரை இருக்கிறது. ஹீலியம், ஆர்கான் போன்ற வாயுக்களுக்கும், ஆல்கஹால் போன்ற ஆவிகளுக்கும் இம் மதிப்பு இன்னும் குறைவாகவே இருக்கிறது. ஆல்கஹால் ஆவியும் நீராவியும் கலந்த ஆல்கஹாலுக்கு இவ் விகிதம் 1·12 அல்லது அதற்கும் குறைவாகவே இருக்கிறது.

வாயுவின் அழுத்தமும் தன்மையும் : அறையினுள் நிறை செறிவாக்கப்பட்ட நீராவி அல்லது ஆல்கஹால் ஆவியோடு காற்றைப் பயன்படுத்தினால், அது துகள்களின் பாதையைக் குலைத்துச் சிதறல் விளைவுகளை ஏற்படுத்துகிறது. இச் சிதறல் விளைவின் காரணமாகத் துகள்களின் ஆற்றல்களைக் கணக்கிடு வதற்காகச் செய்யப்படும் பாதைகளின் ஆர அளவீடுகளில் பிழை உண்டாகிறது. இதனைத் தவிர்ப்பதற்காகக் காற்றுக்குப் பதிலாக ஹைட்ரஜன் பயன்படுத்தப்படுகிறது. எல்லா வகை அழுத்தங்களிலும் இயங்கக்கூடிய முகிற்கலங்கள் அமைக்கப் பட்டுள்ளன. அதிக அழுத்தமுள்ள வாயுவைப் பெரிய விட்ட முள்ள அறைகளில் நிரப்பி, மிக வேகமாகச் செல்லும் புரோட் டான்களின் முழுப் பாதையையும் காணலாம். குறைந்த அழுத்தங்களைப் பயன்படுத்துவதால் குறைந்த ஆற்றலுள்ள துகள்களைக் காணலாம்.

ஒளியூட்டல், ஒளிப்பட உத்திகள் : கார்பன் வில் விளக்கு (carbon arc lamp), நுண்குழாய்ப் பாதரச வில்விளக்கு, ஆக்சிஜன் வாயுவில் அலுமினியத் தகடுகளை எரித்தல் ஆகியவை ஒளித் தோற்றுவாய்களாக அமைகின்றன. தகுந்த கோணங் களில் அமைக்கப்படும் காமிராக்களைக்கொண்டு பாதைகளின் கனபரிமாணப் (stereoscopic) படங்கள் எடுக்கப்படுகின்றன. இப் படங்கள் துகள்களின் இயங்கெல்லைகள், திசைகள் ஆகிய வற்றை அளவிடுவதற்கேற்ப, பாதைகளை வெளியிடங்களில் அமைக்க உதவுகின்றன. ஒளிப்படம் எடுப்பதில் கூரி (Kurie) என்பவர் சில புது முறைகளை ஏற்படுத்தியுள்ளார்.

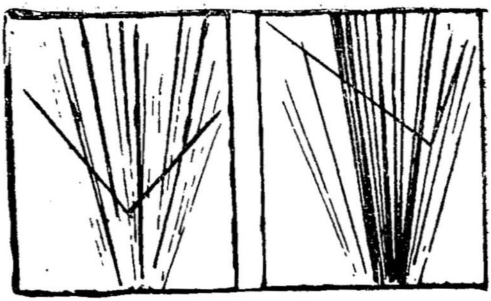
துகள்களின் தோற்றுவாய் : ஆல்ஃபாத் துகள்களுக்கான தோற்றுவாய் அறைக்குள்ளேயே வைக்கப்படுகிறது. பீட்டாத்

துகள்களின் தோற்றுவாய் அறைக்கு வெளியே வைக்கப்பட்டுச் சன்னல் வழியே அனுமதிக்கப்படுகின்றன. நியூட்ரான்களைப் பற்றிய ஆய்வில் அறை ஹைட்ரஜனாலும் நீராவியாலும் நிரப்பப் பட்டு, மீண்டெழு மோதல்களின் காரணமாக உருவாகும் பின்னெழு புரோட்டான்கள் படமெடுக்கப்படுகின்றன. காம்ப் டன் விளைவை ஏற்படுத்த அறையினுள் ஒரு கார்பன் தகடு வைக்கப்பட்டு காமாக் கதிர்வீச்சுக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. ஒளிமின் விளைவு, இணையாக்க விளைவிற்குக் காரீயத் தகடு பயன் படுத்தப்படுகிறது. இத்தகு விளைவுகளின் காட்சிப் பதிவுகளி லிருந்து காமாக் கதிர்கள் ஆராயப்படுகின்றன.

முகிற்கலன் அமைக்கப்பட்ட ஆரம்ப காலத்தில் ஒரு துகளின் பாதையைப் படத்தில் காண, பல முறைகள் விரிவு நடத்திப் படம் பிடிக்க வேண்டியிருந்தது. ஏனெனில், ஆவி விரிவடையும் தருணத்தில் (1/100 செகண்டு கால அளவில்) ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் கலனுக்குள் சென்றுகொண் டிருக்கும் என்ற நிச்சயமில்லை. இங்கிலாந்தைச் சேர்ந்த பி.எம்.எஸ். பிளாக்கட் (P. M. S. Blacket) ஒரு புது முறையை 1932 ஆம் ஆண்டு புகுத்தினர். கலனுக்கு மேலும் கீழும் இரு கைகர் முல்லர் எண்ணிகளை ஒன்றித்துப் பிணைத்து வைத்தார். இந்த எண்ணிகளினூடே ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் சென்றால், அது கட்டாயமாகக் கலனுக்குள்ளும் சென்றாக வேண்டும். இந்த எண்ணிகள் உண்டாக்கும் மின்னழுத்தம் பெருக்கப்பட்டு, அது ஊடிபங்கு உருளை நகர்வதற்கும், விளக்கைப் போட்டுக் காமிராவை இயக்குவதற்கும், அடுத்த துகளுக்காகத் தயாராக்கி வைப்பதற்கும் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. ஆகவே, எண்ணிகளால் இயக்கப்படும் முகிற்கலன் நேரத்தையும் படச் சுருளையும் வீணாக்குவதில்லை; தேவையான வற்றை மட்டும் தானாகவே படம் பிடித்துக்கொள்ளும் திறமை பெற்றது. இதனை உருவாக்கியதற்காக 1948 ஆம் ஆண்டு பிளாக் கட்டுக்கு நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது. பிளாக்கட்டினால் அமைக்கப்பட்ட கருவி 'கணிப்பான் ஆளும் முகிற்கலம்' (counter controlled cloud chamber) எனப்படுகிறது. மேற்கூறிய இடர்ப் பாட்டை நீக்கும் மற்றொரு கருவி 'பரவு முகிற்கலம்' ஆகும்.

முகிற்கலனின் அறைக்குள் கதிரியக்கப் பொருள் வைக்கப் பட்டால், ஆல்ஃபாத் துகள் வெளிப்பட்டுக்கொண்டே இருக்கும். ஆகையால், விரிவு ஏற்படும்போதெல்லாம் பாதைகள் உண்டாகும். அவ்வாறு எடுக்கப்பட்ட படம் ஒன்றில், வாயுவின் மூலக் கூறிலிருந்து ஆல்ஃபாத் துகளால் வெளியேற்றப்பட்ட

ஒரு புரோட்டானின் பாதை (P) தென்பட்டது. இது படம் 3-15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அத்துடன் பின் உதைப்புண்ட அணுக்கருவின் குறுகிய தடிப்பான பாதையும் காணப்பட்டது. இதுபோல, அணுத்துகள்களுக்கிடையே நடைபெறும் வினையாக்கங்களைப் படமெடுத்து ஆராய வில்சனின் முகிற்கலன் உதவுகிறது.



படம் 3-15.

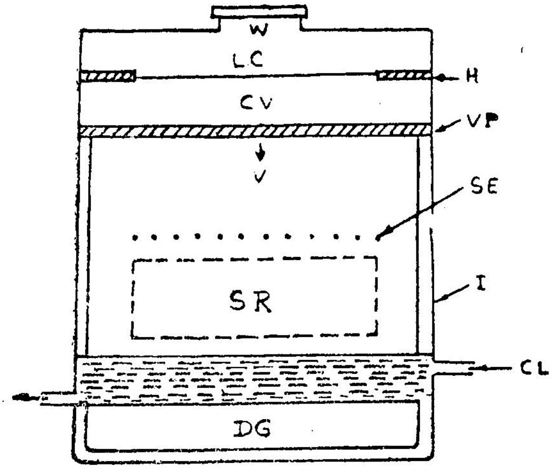
முகிற்கலத்தைக்கொண்டு பதிவு செய்யப்பட்ட ஆல்ஃபாத் துகளின் பாதையைக் காட்டும் படம்.

வில்சனின் முகிற்கலன் மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாகும். இவை கதிரியக்கக் கண்டுணர் கருவியாக மட்டுமல்லாது, அணு ஆராய்ச்சியிலும் பெருமளவில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதில் எடுக்கப்பட்ட படங்கள் பகுப்பாய்வு செய்யப்பட்டு, அடிப்படை உண்மைகள் பல கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. முகிற்கலனைக்கொண்டே ஆண்டர்சன், பாசிட்ரானைக் (Positron) கண்டுபிடித்தார். அவருடன் நெட்டர் மேயரும் (Nedder Meyer) சேர்ந்து இருவருமாக மீசானைக் (Meson) கண்டுபிடித்தனர்.

விரவல் முகிற்கலம்

விரவல் முகிற்கலம் (diffusion cloud chamber) முதன் முதலாக லாங்ஸ்டார்ஃப் (Longstarf) என்னும் விஞ்ஞானியால் 1939-ம் ஆண்டு அமைக்கப்பட்டது. ஆனால், அதற்குப் பல ஆண்டுகளுக்குப் பின்னரே இவை வெற்றிகரமாக அமைக்கப்பட்டுப் பல சோதனைச்சாலைகளிலும் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. இக் கலம் தொடர்ச்சியாக உணர்வு நுட்பமுடையதாகத் திகழ்கிறது. இக் கலனைச் செம்மையான முறையில் உருவாக்க ஆர். பி. ஷட் (R. P. Shut) பாடுபட்டுள்ளார்.

விரவல் முகிற்கலனின் மாதிரி அமைப்பு படம் **3-16-ல்** காட்டப்பட்டுள்ளது. ஓர் அடி விட்டமும் அரை அடி உயரமும் கொண்ட கண்ணாடி வளையங்களைக்கொண்டு அறை அமைக்கப்படுகிறது. இது ஒரு பித்தளை உருளையால் வலுப்படுத்தப்படுகிறது. அறையின் அடியில் கறுப்பாக்கப்பட்ட கால் அங்குலக் கனமுள்ள பித்தளைத் தகடு வைக்கப்பட்டுள்ளது. அடிப்பாகம் திரவத்தால் நிரப்பப்படும்போது, அது ஒளிப்படம்



படம் 3-16.
விரவல் முகிற்கலம்.
W—சன்னல்; LC—திரவம்; CV—ஆவி; H—மின்சூடேற்றி; V—ஆவி நுழையும் வழி; VP—வெல்வெட் படுகை; SE—மின்வாய்; SR—உணர்வு நுட்பமுள்ள பகுதி; I—ஒளியூட்டும் பகுதி; CL—குளிர்ச்சி உண்டாக்கும் திரவம்; DG—ஈரமற்ற வாயு.

எடுப்பதற்கு நல்ல பின்னணியாக விளங்குகிறது. அறையின் மேல் கூரையாக அமையும் உலோகத் தகட்டில் சிறு கண்ணாடிச் சன்னல் உள்ளது. இச் சன்னல் வழியாகக் காட்சிகளைப் பதிவு செய்யலாம். அறையிலுள்ள வாயு வெளியேற இயலாத வண்ணம் இறுக்கமாக மூடப்பட்டுள்ளது.

தேல் தகட்டுக்குக் கீழ் ஒரு கிண்ணத்தில் திரவம் வைக்கப்பட்டு மின்சூடேற்றியால் ஆவியாக்கப்படுகிறது. கிண்ணத்தின் கீழ்ப்பாகத்தில் சிறுசிறு துவாரங்கள் உள்ளன. வெல்வெட்டு மெத்தை ஒன்றும் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த மெத்தை திரவத்தால் சீராக நனைக்கப்பட்டிருக்கும். செறிவாக்கும் ஆவி, அறையிலுள்ள வாயுவைவிட லேசாக இருக்க வேண்டும். எனவே,

அறையில் மந்த வாயுவாக (inert gas) காற்று பயன்படுத்தப் படுகிறது. அறையின் அடிப்பாகத்தில் நீரில்லாத பனிக்கட்டி வைக்கப்பட்டு, 70°C வெப்ப நிலை நிறுவப்படுகிறது. இந்த வெப்ப நிலை 40°C-க்கும் குறைவாக இருந்தால்தான் மீநிறைச் செறிவாக்கம் கிடைக்கும். அறையின் மேல்பாகம் சாதாரண மாக 40°C வெப்ப நிலையில் வைக்கப்படுகிறது.

சூடான மேல்கூரையிலிருந்து மந்தமான வாயுவின் வழியாகக் குளிர்ந்த தரைக்கு வரும் ஆவியின் விரவல் (diffusion) காரணமாக மீநிறைச் செறிவாக்கம் நிகழ்கிறது. அடிப்பாகத்திற்கு அருகில் அயனிகளில் நீர்த்திவலைகள் படிகின்றன. ஆவி தொடர்ந்து மேலிருந்து பரவி வந்துகொண்டிருப்பதால், அயனிகளின் பாதை மறையாமல், கலன் தொடர்ச்சியாக உணர்வுநுட்ப முடையதாகத் திகழ்கிறது.

முகிற்கலனைவிட விரவல் முகிற்கலம் வடிவமைப்பில் எளிமையானது. இதில் வால்வுகள், ஆரம்ப நிலைக்கு மீண்டும் கொண்டுவரத் தேவையான பாகங்கள் முதலியவை இல்லை. மேலும், இதில் பாதைகளைக் குலைக்கும் சுழி ஓட்டம் (eddy current) போன்றவையும் இல்லை.

குமிழ்க் கலம்

காஸ்மிக் கதிர் அல்லது சைக்ளட்ரானிலிருந்து (cyclotron) வெளிப்படும் மிக அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த துகள்கள் முகிற் கலனில் செலுத்தப்பட்டால் அவை நீண்ட பாதைகளைத் தோற்றுவிக்கும். முகிற்கலனில் அப்பாதையின் ஒரு பகுதிதான் தெரியும். அதனைக்கொண்டு, நடைபெறக்கூடிய நிகழ்ச்சியில் சிறு பகுதியைத்தான் தெரிந்துகொள்ள முடியும். முகிற்கலனில் அடர்த்தி குறைந்த வாயுக்களே செயற்படுவதால், அரிய வினை யாக்கங்கள் எதுவும் நடைபெறும் முன்னரே துகள்கள் கலனை விட்டு வெளியேறிவிடுகின்றன. இத்தகைய நிகழ்ச்சிகளை ஆராயக் 'குமிழ்க் கலம்' (Bubble chamber) பயன்படுகிறது. இதில் வாயுவுக்குப் பதில் அடர்த்தி அதிகமுள்ள திரவம் நிரப்பப்படுகிறது.

டி. ஏ. கிளேசர் (D. A. Glacer) என்ற அமெரிக்க விஞ்ஞானி 1952-ம் ஆண்டு குமிழ்க் கலனை உருவாக்கினர். இதில் முகிற்கலன், அணுக்கருப் பசை முறை ஆகியவற்றின் சிறப்பான அமிசங்கள் ஒன்றுசேர்க்கப்பட்டு, அவற்றின் இடர்ப்பாடுகள் நீக்கப் பட்டுள்ளன. இக் கருவி அண்மையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட

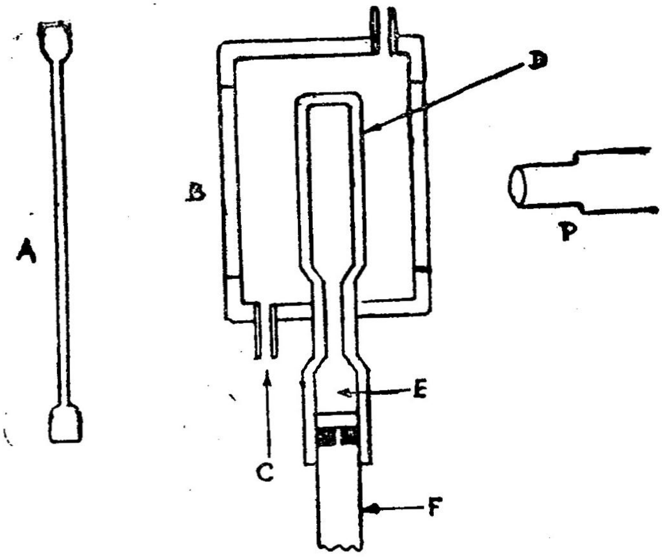
போதிலும், துகள்களைக் கண்டுணர இன்று பெருமளவில் பயன் படுத்தப்படுகிறது. இதன் விலை மிக அதிகம். அணு உலைகளிலிருந்து (nuclear reactor) பெறப்படும் அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த துகள்களின் வினையாக்கங்களை ஆராயக்கூடிய வண்ணம் குமிழ்க் கலன்கள் உருவாக்கப்படுகின்றன.

முதலில் ஒரு சோடாப் பாட்டிலை எடுத்துக்கொள்ளலாம். அது திறக்கப்படுவதற்கு முன்னர், திரவத்தில் கரைந்துள்ள கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடும் திரவ நிலைக்கு மேலுள்ள கார்பன் டை-ஆக்சைடும் சம நிலையில் இருக்கும். பாட்டில் திறக்கப்பட்டவுடன், அழுத்தம் குறைகிறது. திரவத்தில் கரைந்துள்ள வாயு தெவிட்டு நிலை அடைகிறது. சமநிலையற்ற தன்மை காரணமாகக் குமிழ்கள் தோன்றி, நுரைத்தெழுகிறது (effervescence). சம நிலை தொடர்ந்து இருக்காததால் குமிழ்கள் தோன்றுகின்றன. இதனை, பாட்டிலிலிருந்து திரவத்தை ஒரு கண்ணாடிக் குவளையில் ஊற்றும்போது குமிழ்கள் உண்டாவதிலிருந்தும் அறியலாம். ஒரே குமிழிலிருந்து பல குமிழ்கள் உருவாகின்றன. திரவத்தில் உப்பு, சர்க்கரை அல்லது பனிக்கட்டி சேர்த்தால் மேலும் குமிழ்கள் உருவாகின்றன. இதைப்போலவே குமிழ்க் கலத்தில் அயனிகள் உண்டாக்கப்படும்போது அவை, பல சிறு குமிழ்கள் தோன்றுவதற்கு மையக் கருவாக விளங்குகின்றன.

சாதாரணமாக, ஒரு திரவத்தின் வெப்ப நிலை அதன் கொதி நிலைக்கு வந்தவுடன், திரவம் குமிழ்களை வெளியிட்டுக் கொதிக்க ஆரம்பிக்கும். ஆனால், அதன்மீது அதிகமான அழுத்தம் செயற் பட்டால், அதன் கொதி நிலை உயர்ந்து, இயல்பான கொதிநிலைக்கு மேல் 30° அல்லது 40° அதிக வெப்ப நிலை அடைந்தாலும் கொதிக்காமல் நிற்கும். அப்பொழுது திடீரென அழுத்தத்தைக் குறைத்தால், திரவம் மீச்சூடேற்றப்பட்ட நிலையை (super heated) அடைந்துவிடும். அச் சமயத்தில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் ஒன்று அத் திரவத்தினூடே சென்றால், அது உண்டு பண்ணும் அயனிகளைச் சுற்றிச் சிறுசிறு குமிழ்கள் உண்டாகி அதன் பாதையைக் காட்டும். ஒளியூட்டி, துகளின் பாதையைப் படமெடுக்கலாம். காந்தப் புலத்தைக்கொண்டு துகள்களை விலகச் செய்து, அவற்றின் மின்னூட்டம், திசைவேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம்.

குமிழ்க் கலனில் ஈதர், திரவ நைட்ரஜன், திரவ ஹைட்ரஜன், ஐசோபென்டேன் (isopentane) முதலிய திரவங்கள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. ஐசோபென்டேன் சாதாரண நிலையில்

28°C-ல் கொதிக்கும். அதன்மேல் 23 வளியழுத்தம் செயற்படுத்தப்பட்டு 157°C க்குச் சூடேற்றப்பட்டுப் பின் திடீரென அழுத்தம் குறைக்கப்படுகிறது. உடனே சைக்ளட்ரானிலிருந்து வெளிவரும் அதிக ஆற்றல் உள்ள துகள்கள் மீவெப்பத் திரவத்தினுள் பாய்ச்சப்படுகின்றன. துகள்களின் பாதையில் சிறு குமிழ்கள் தோன்றுகின்றன. அவற்றின்மீது ஒளியூட்டிப் படம் பிடிக்கப்படுகிறது.



படம் 3-17.
பென்டேன் பயன்படுத்தப்படும் குமிழ்க்கலம்.

A—ஒளித் தோற்றுவாய்; B—சன்னல்; C—சூடான காற்று நுழையும் வழி; D--பென்டேன் நிரப்பப்பட்ட கண்ணாடிக்கலம்; E—தண்ணீர்; F—ஊடியங்கு உருளை; P—காமிரா.

பென்டேன் பயன்படுத்தப்படும் குமிழ்க்கலம் படம் 3-17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. 3 செ.மீ. நீளமும் 1 செ.மீ. உள்விட்டமும் கொண்ட கனமான சுவருடைய உருளை வடிவமுள்ள கண்ணாடி பல்பு கலனாக அமைந்துள்ளது. இதில் டைஈதைல் ஈதர் (diethyl ether) நிரப்பப்பட்டுள்ளது. இந்த பல்பைச் சுற்றி ஓர் எண்ணெய்த் தொட்டி வைக்கப்பட்டு வெப்ப நிலைக் காப்பானால் (thermostat) கட்டுப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இதன் மூலம் ஈதர் 140°C-க்குச் சூடேற்றப்படுகிறது. 300 பவுண்டு/ச. அங். அழுத்தத்திலுள்ள நைட்ரஜனைக்கொண்டு ஈதர்,

ஆவிக் குமிழ்கள் இல்லாத அளவுக்கு இறுக்கப்படுகிறது. நைட்ரஜன் உடனடியாக வெளியேற்றப்படுகிறது. ஈதர் வளியழுத்தத்தில் மீவெப்ப நிலையை அடைகிறது. இந்த நிலையில் பல செகண்டுகள் ஈதர் அமைதியாக இருக்கிறது. பின்னர் வேகமாகக் கொதிக்கிறது. இந்த அமைதியான நேரத்தில் அதன் வழியே செல்லும் துகள், குமிழ்களை உருவாக்கிச் செல்கிறது. இக் குமிழ்கள் படம் பிடிக்கப்படுகின்றன. (ஒரு பெரிய குமிழ்க்கலத்தில் 1·3 வெபர்/மீட்டர்^{2} காந்தப் புலத்தில், 450 லிட்டர் திரவ நைட்ரஜன் நிரப்பப்படுகிறது.)

கதிரியக்கக் கண்டுணர் கருவியாகக் குமிழ்க்கலனைப் பயன் படுத்துவதில் உள்ள நன்மைகளாவன :—

(i) கலனிலுள்ள திரவத்தின் (ஈதர்) அடர்த்தி 0·5 கிராம்/செ மீ^{3}; இயல்பான வெப்ப நிலை—அழுத்தத்தில் உள்ள காற்றின் அடர்த்தியைப் போல இது சுமார் 380 மடங்கு அதிகமாகும். இதனால் மிக அதிக ஆற்றல் உள்ள துகள்களின் பாதையை, முகிற்கலனைவிட நன்ருக அறிய முடிகிறது. 140 அடி நீளமுள்ள முகிற்கலன் பதிவு செய்யும் நிகழ்ச்சிகளை 6 அங்குல அளவுள்ள குமிழ்க்கலன் பதிவு செய்துவிடுகிறது.

(ii) குமிழ்களின் அளவுகளை அளப்பதன் மூலம் வெவ்வேறு பாதைகள் தோன்றிய ஒப்பு நேரத்தைக் (relative time) கணக்கிடலாம். இது சுமார் 0 முதல் 100 மைக்ரோசெகண்டு (microsecond) அளவில் இருக்கும்.

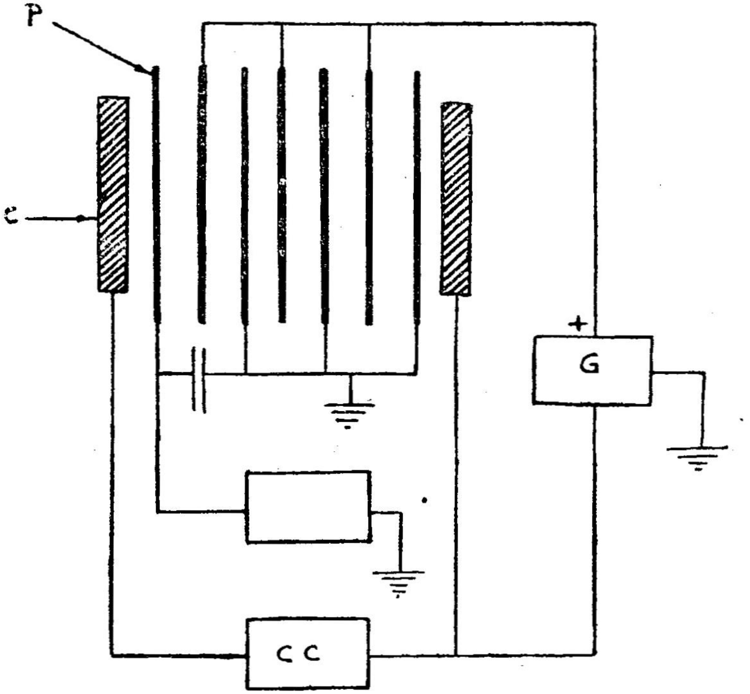
(iii) குமிழ்கள் மிக விரைவில் தோன்றிவிடுவதால், பாதை தொடர்ச்சியாக இருக்கும்.

(iv) அயனியாக்கம் குறைவாக இருந்தாலும், கலன் உணர்வு நுட்பம் உடையதாக இருக்கிறது. வெவ்வேறு ஆய்வுகளின் நிலைமைக்கேற்றவாறு குமிழ்க்கலன் நெகிழ்ந்து கொடுக்கும் தன்மை (adaptability) வாய்ந்ததாக இருக்கிறது. முகிற் கலனைப் போலக் காந்தபுலச் சோதனைகளுக்கு இடமளிக்கும் வகையில் துகள்களை அதிகம் விலக்காத இலேசான திரவத் தால் நிரப்பலாம். அல்லது அணுக்கருப்பசை முறை போல அதிகச் சிதறல் உண்டாகக்கூடிய செறிவுமிக்க திரவத்தாலும் நிரப்பலாம்.

(v) பழைய பாதைகளின் சுவடுகள் இருப்பதில்லை. முகிற் கலனில் வெப்பச் சலனத்தால் பாதைகள் உருக்குலைக்கப்படுவது போல, குமிழ்க்கலனில் பாதைகள் உருக்குலைக்கப்படுவதில்லை.

பொறிக்கலம்

அதி-ஆற்றல் இயற்பியலில் (high energy physics) பொறிக் கலம் (spark chamber) மிகவும் பயனுள்ளதாகத் திகழ்கிறது. இதன் மாதிரி அமைப்பு படம் 3-18-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது வளி அழுத்தத்தில் உள்ள நியான் வாயு (neon) ஒரு கலத்தில் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. இக் கலத்தில் பல சதுர அடி பரப்புள்ள இணையான உலோகத் தகடுகள் தொடர் இணைப்பாக (series)



3-18.

பொறிக்கலத்தின் மாதிரி அமைப்பு

C—எண்ணி; P—உலோகத் தகடுகள்; G - துடிப்பு இயற்றி;
CC—ஒருங்குநிகழ்வு மின் சுற்று

உள்ளன. தகடுகள் ஒன்றோடு ஒன்று இணைக்கப்படாமல் தனித் தனியாக உள்ளன. ஆனால், அடுத்தடுத்த தகடுகள் நில இணைப்புற்றவையாகவும், மற்றவை அதிக மின்னழுத்த துடிப்பு —இயற்றியுடனும் (pulse gcnerater) இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இத் துடிப்பு இயற்றி அத் தகடுகளுக்கு அதிக மின்னழுத்தத்தை

ஒவ்வொரு மைக்ரோசெகண்டுக்கும் தருகிறது. இதனால் கலனுக்குள் நுழையும் துகளால் அயனியாக்கம் நடைபெறும். தகடுகளுக்கு இடைப்பட்ட பகுதியில் பொறி (spark) உண்டாகிறது. துகளின் பாதையைப் பொறிகளின் அடையாளம் கொண்டு படம் பிடிக்கலாம். குமிழ்க்கலனைவிடப் பொறிக்கலனில் அயனிகளைத் துவக்குவதும் நீக்குவதும் மிக எளிதாக நடைபெறுகிறது.

பொறிக்கலனில் பொதுவாக 25 முதல் 100 உலோகத் தகடுகள் உள்ளன. ஒவ்வொன்றும் ஒரு மீட்டர் சதுரப் பரப்பும், ஒரு மி·மீ தடிமனும் உடையவை. இவற்றின் இடைவெளி 3 முதல் 5 மி.மீ. வரை இருக்கும். பொறிகளிலிருந்து வரும் ஒளியே, அவற்றைப் படம் பிடிக்கப் போதுமானதாக உள்ளது. தகடுகளுக்கு இடையிலுள்ள பாதைகள் மட்டுமே தெரியுமாதலால், ஒரு தகட்டுத் தடிமனுக்குள்ளான அணுக்கரு விளைவுகளை மட்டுமே பொறிக்கலனைக்கொண்டு தீர்மானிக்கலாம்.

பொறிக்கலன்களை எளிதில் அமைக்கலாம்; இவற்றிற்குச் சிக்கலான துணைக்கருவிகள் தேவைப்படுவதில்லை. தகடுகளுக்கான உலோகமும், செயற்படும் வாயுவும் மிகுந்த இரசாயனத் தூய்மையுடன் இருக்கவேண்டும் என்ற கட்டாயமில்லை. அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த துகள்களின் சிதறல் விளைவுகளை ஆராயப் பொறிக்கலனே ஏற்றது.

அணுக்கருப் பசைமுறை

பீட்டாக் கதிர்கள் போட்டோ பசையின்மீது செயற்படுத்தப் பட்டதாலேயே கதிரியக்கக் கதிர்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன என்று நூலின் ஆரம்பத்திலேயே பார்த்தோம். இன்று கதிர்களைக் கண்டுணரப் பல்வேறு வகையான கருவிகள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன; எனினும், பழமையான முறையான போட்டோ பசைகளும் இன்னமும் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. ஏனெனில், இம்முறையால், மற்ற முறைகளை விடச் சில மேலதிக நன்மைகளும் உள்ளன.

அடிப்படைக் கோட்பாடு: இம் முறையின் அடிப்படைக் கோட்பாடு மிக எளிமையானது. மின் துகள்கள் போட்டோ தகட்டின்மீது விழும்போது, தகடு ஒளியூட்டப்படும்போது உண்டாகும் அதே விளைவுகள் நிகழ்கின்றன. போட்டோத் தகட்டை உருத்துலக்கும் வரை (develop) படமெடுக்கப்பட்ட பொருளின் உள்ளுறைப் படிமம் (latent image) வெள்ளி

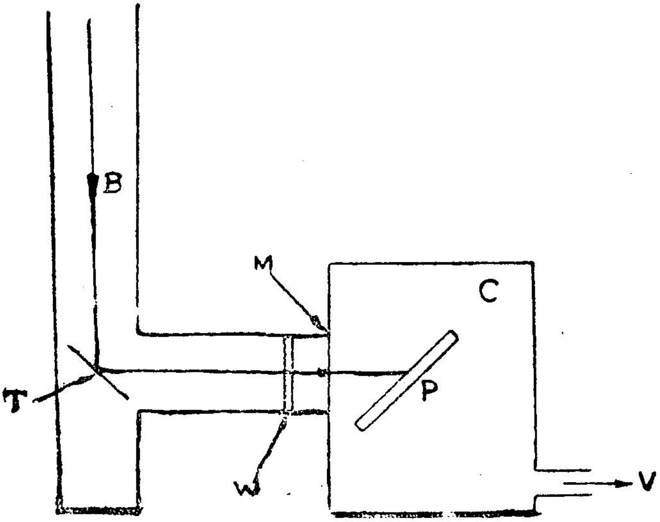
ஹேலைடு நுண்குறுணைகளால் (silver halide grains) எவ்வாறு பாதுகாக்கப்படுகிறதோ, அவ்வாறே மின்துகள்களின் சுவடு களும் போட்டோப் பசையால் பாதுகாக்கப்படுகின்றன. எனவே, போட்டோத் தகடு உருத்துலக்கப்பட்டவுடன் வெள்ளி உலோக நுண்குறுணைகளாலான வரிகளாக, துகள்களின் பாதைகள் தெரிகின்றன. இவற்றை நுண்ணோக்கி கொண்டு நேரடியாகக் காணலாம். அல்லது ஒரு திரையில் விழச் செய்து படமெடுக்கலாம்.

அக் காலத்தில் போட்டோப் பசை மிக்க உணர்வற்றும், கண்ணாடித் தகட்டில் மிக லேசாகத் தடவப்பட்டும் இருந்ததால். துகள்களின் பாதை சரிவரத் தெரியவில்லை, ஆகவே, ரூதர் ஃபோர்டின் சில முயற்சிகளுக்குப் பிறகு அக்காலத்தில் இம்முறை பெரிதும் பயன்படுத்தப்படவில்லை. டாக்டர் ஒக்கிலியானி, டாக்டர் பவல் (Dr. Occhialini and Dr. Powell) ஆகிய இருவரும் எடுத்துக்கொண்ட பெருமுயற்சிகளின் காரணமாகவே இந்த முறை வளர்ச்சியடைந்தது. இவ்விருவரும் 1938-ம் ஆண்டில் தொடங்கி, இம் முறையிலுள்ள பல வகைப்பட்ட சிக்கல்களை விடுவிக்கும்வரை உழைத்து 1947-ம் ஆண்டு வெற்றி கண்டனர்.

அணுக்கருப் பசை: டாக்டர் பவல் அதிகக் கனமான ஒரு பசையைத் தயாரித்தார். இதுவே, 'அணுக்கருப்பசை' (nuclear emulsion) எனப்படுகிறது. இந்தப் பசையில் இயல்பாக உள்ளதைவிட அதிகமான அளவில் உணர்வுமிக்க நுண்குறுணை கள் உயர்ந்த செறிவாக்கத்தில் இருந்தன. குறிப்பிட்ட அளவு பாகுக் கலவையில் (gelatine) இயல்பான பசையில் உள்ளதைப் போல பத்து மடங்கு வெள்ளி ஹேலைடு இருந்தது. இதன் அடர்த்தி நீரின் அடர்த்தியைப்போல நான்கு மடங்கு ஆகும். நுண்குறுணைகள் நெருக்கமாக அமைந்திருப்பதால், தங்களின் பாதையைத் துல்லியமாக அளவிட முடிந்தது. எனவே, பாதைகளின் நீளத்தில் அடிப்படையில் கணக்கிடப்பட்ட ஆற்றலின் மதிப்பு நம்பத்தகுந்ததாக இருந்தது.

இப் பசையிலுள்ள நுண்குறுணைகளின் அளவு 0·1 முதல் 0·5 மைக்ரான் வரை மாறுகிறது. அதற்கேற்பத் தகடுகளின் தரங்கள் A, B, C .. என அழைக்கப்படுகின்றன. குறுணைகளின் அளவை மாற்றுவதன் மூலம் வெவ்வேறு வகைக் கதிர்வீச்சு களுக்கான உணர்திறனைக் கட்டுப்படுத்த முடியும். எனவே, புரோட்டான்கள், ஆல்ஃபாத் துகள்கள் எனத் தேவையான துகள்களுக்கேற்பத் தகடுகளைத் தயாரிக்கலாம்.

தனியாகத் தயாரிக்கப்பட்ட தகடுகளில் கனமான பசை உள்ளது. சாதாரணமாக 100 மைக்ரான் (μ) கனமான பசை பயன்படுத்தப்படுகிறது. தகட்டின் பரப்புக்குச் செங்குத்தான திசையில் எந்தப் பாதையின் நீளமும் இக் கனத்தைவிட அதிகமாக இருக்காது பசையில் துகள்களின் இயங்கெல்லை 1 மி.மீ. முதல் 10 மைக்ரான் வரை மாறுவதால் பல பாதைகளை, அவை தகட்டின் பரப்பிற்கு இணையாகச் செல்லும்போதே பின்பற்ற முடியும். பசையின் தளத்திற்கு அதிகக் கோணத்தில் பசையினுள் நுழையும் துகள்களைப் பதிவுசெய்ய 300 மைக்ரான் வரை கனமான பசைகளைக்கொண்ட தகடுகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன.



படம் 3-19

அணுக்கருப் பசை முறையின் வரிவடிவ அமைப்பு.

T—இலக்கு; B தாக்கும் கற்றை; M—மையப்புழைத் தகடு; W—மைக்கா சன்னல்; P—தகடு; C—காமிரா; V—வெற்றிடமாக்கிக்குச் செல்லும் வழி.

அமைப்பு: கதிரியக்கக் கதிர்கள் பற்றிய வெவ்வேறு சோதனைகளுக்கேற்ப, அணுக்கருப் பசை தடவிய தகடுகள் அமைக்கப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட முறையின் வரிவடிவ அமைப்பைப் படம் 3-19-ல் காணலாம். பசை தடவிய தகடு காமிராவினுள் படுகற்றைக்குச் சாய்வாக வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. படுகற்றைக்கும் தகட்டுக்கும் இடையேயுள்ள கோணத்தை மாற்றவும் அளக்கவும் முடியும். காமிராவை

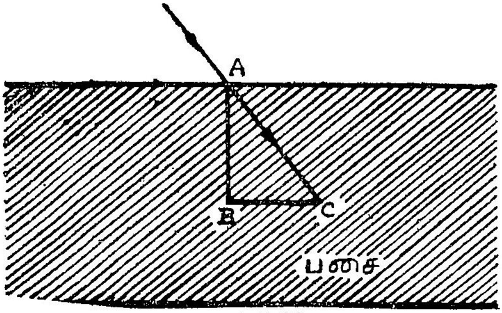
வெற்றிடமாக்கவும் செய்யலாம். காக்ராஃப்ட், வால்டன் மின்னழுத்தப் பெருக்கி (cockroft and walton tension multiplier) போன்ற ஒன்றால் முடுக்கப்பட்ட டியூட்ரான் (deutron) கற்றை லிதியத்தின் (lythium) மாதிரிக் கூறு ஒன்றன்மீது மோதுவதாகக் கொள்வோம். இதன் விளைவாகக் கிடைக்கும் புரோட்டான்களை ஒரு மைக்கா சன்னலால் மதிப்புத் தெரிந்த அளவுக்குத் தடுத்து நிறுத்தலாம். பின்னர், அவை காமிராவி லுள்ள சிறு மையப்புழை (diaphgram) வழியாகச் செலுத்தப் பட்டு, பசையை வந்தடைகின்றன. பசையின்மேல் விழும் புரோட்டான்கள் அவற்றின் பண்புகளைக் குறிக்கும் பாதைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. தகட்டை உருத்துலக்கி பாதைகளை ஆராயலாம்.

உருப்பெருக்கம்: பசையில் ஏற்பட்ட நுண்ணிய பாதை களை எளிதில் காண்பதற்கும் ஆராய்வதற்கும் ஏற்ற வகையில் அவை ஆயிரம் முதல் இரண்டாயிரம் மடங்கு வரை கணிசமான அளவுக்கு உருப்பெருக்கப்படுகின்றன. குறுக்களவு அதிகமுள்ள குவிவில்லையைக்கொண்ட நுண்ணோக்கியால், தக்க இடைநிலை ஒளி அமைப்பைக்கொண்டு உருப்பெருக்கம் செய்யப்படுகிறது. பெருக்கப்பட்ட படிவம் ஒரு திரையில் வீழ்த்தப்பட்டுப் படம் எடுக்கப்படுகிறது. பசையின் பரப்புக்கு இணையான தளத்தில் பாதையிருந்தால் ஒரே முறையில் படம் எடுத்துவிடலாம். மாறாகப் பாதை பசையினுள் அமிழ்ந்திருந்தால் வெவ்வேறு பகுதிகள் தனித்தனியாகப் பெருக்கப்பட்டுப் பின்னர்க் கோவை யாகப் படம் எடுக்கப்படுகிறது. டாக்டர் ஒக்கியாலினி இதற்குப் பயன்படுத்தக்கூடிய சீரிய வீழ்த்தி நுண்ணோக்கி (projection microscope) ஒன்றை அமைத்துள்ளார். அது டெலிஃபான்டோ (telephanto) எனப்படுகிறது. இது, வீழ்த்தப்படுவதற்காகத் தன்னுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும் தகட்டின் முழுப் பரப்பையும் தானே இயக்கித் துருவக்கூடியதாக (scanning) இருக்கிறது. மேலும், தகட்டின் பரப்பு, ஆழம் ஆகிய எல்லாப் பகுதிகளையும் நுணுகிக் காணுமாறு அதன் குவி மையத்தைச் சீரான இடை வெளிகளில் மாற்றிக்கொள்ளும் தன்மை வாய்ந்ததாக இருக் கிறது.

அணுவீடுகள்: துகள், ஒரு குறிப்பிட்ட நீளத்தில் உருவாகக் கூடிய அயனிகளின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்துப் பாதையின் தோற்றம் அமைகிறது. பாதைகளின் தோற்றத்தைக்கொண்டு துகள்களின் தன்மையை அறியலாம். ஓரலகு நீளத்தில் ஒரு புரோட்டானைவிட ஆல்ஃபாத் துகள் அதிக அயனியாக்கம் செய்

கிறது. இதனால் உருத்துலக்கக்கூடிய வெள்ளி ஹேலைடு நுண் குறுணைகளின் எண்ணிக்கை ஆல்ஃபாத் துகளுக்கு அதிகமாகவும் புரோட்டானுக்குக் குறைவாகவும் இருக்கிறது. இதனால், போட்டோப் பசையில் படிந்துள்ள பாதையின் தோற்றத்தைக் கொண்டு அதில் சென்ற துகள் ஆல்ஃபாத் துகளா அல்லது புரோட்டானா என எளிதில் வேறுபாடு காண முடிகிறது. டியூட்ரான் பாதை மேற்கூறிய இரண்டுக்கும் இடைப்பட்டதாக இருக்கும். எலெக்ட்ரான்கள் லேசான நிறையுடையனவாக இருப்பதாலும், அவற்றால் உண்டாகும் அயனியாக்கம் மிகக் குறைவாக இருப்பதாலும் அவற்றால் ஏற்படும் பாதை சரிவரத் தெரிவதில்லை. எனினும், அவற்றையும் நன்கு கண்டுணரத் தக்க பசைகள் அண்மைக் காலத்தில் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன.

பாதையின் இயங்கெல்லை நீளத்தைக்கொண்டு துகளின் ஆற்றலை மதிப்பிடலாம். இயங்கெல்லை நீளத்தைக் கணக்கிடும் போது மிகக்கவனமாகச் சிலவற்றைக் கருத்தில் கொள்ள வேண்டும். முதலாவதாக, உருத்துலக்கும் போது பசையில் சுமார் 43% சுருக்கம் ஏற்படுகிறது. டாக்டர் பவல், இச் சுருக்கத்தைத் தவிர்த்துத் துல்லியமாக அளவிடும் முறையைக் கண்டு



படம் 3-20.

இயங்கெல்லை கணக்கிடப்படும் விதம்.

நுண்ணோக்கித் திருகுகளின் உதவியால் உண்மையான இயங்கெல்லை AC-யின் தூரம் கணக்கிடப்படுகிறது.

பிடித்துள்ளார். தகட்டின் நடுப்பகுதியில் சுருக்கம் சீராக உள்ளதென்றும், ஒரே வகையான எல்லாத் தகடுகளுக்கும் இது நிலையான மாறிலி என்றும் அவர் உறுதிப்படுத்தியுள்ளார். இரண்டாவதாக, காற்றில் துகளின் இயங்கெல்லை நீளத்தை ஒப்பிடும்போது பசையில் அதன் இயங்கெல்லை நீளம் குறைவாக இருக்கும். மூன்றாவதாக, பசை முப்பரிமாணம் உடையதாகை

யால், பதிவு செய்யப்படும் பாதை எல்லாத் திசைகளிலும் இருக்கலாம். எனவே, தகட்டின் பரப்பிலிருந்து பாதையின் அமிழ்கோணம் (dip) துல்லியமாக மதிப்பிட வேண்டும். படம் 3·20இல் காட்டியபடி ஒரு துகள் தகட்டில் சாய்வாகச் சென்றால், அது உண்மையாகச் செல்லும் தூரம் (AC), அது செல்வதாகத் தோன்றும் தூரத்தை (BC) விட அதிகமாகும். நுண்ணோக்கித் திருகுகளின் உதவியால், முதலில் பரப்புக்கு அருகிலுள்ள முதல் நுண்குறுணை A-யிலும் பின்னர்ப் பாதையின் கடைசியிலுள்ள நுண்குறுணை C-யிலும் மைக்ரான் அளவுகோலால் அளவுகள் எடுக்கப்பட்டு AB-யின் ஆழத்தையும், BC-யின் நீளத்தையும் கொண்டு உண்மையான இயங்கெல்லை AC கணக்கிடப்படுகிறது.

பயன்கள் : அணுக்கருப் பசை முறை கதிரியக்கச் சிதைவு, செயற்கைத் தனிம மாற்றம், காஸ்மிக் கதிர் பற்றிய பல ஆய்வுகளில் நல்ல பயன் தந்துள்ளது.

கதிரியக்கப் பொருள்களின் சிதைவு பற்றிய ஆய்வுகள் இம் முறையால் நிகழ்த்தப்பட்டுள்ளன. அவற்றுள் ஒன்று, ரேடியத்தில் ஆல்ஃபாச் சிதைவு. பசை, ரேடிய உப்புக் கரைசல் ஒன்றில் சில நிமிடங்களுக்கு அமிழ்த்தப்பட்டுப் பின்னர் உலர்த்தப்பட்டு, பின்னர் ஒளிபுகாப் பெட்டிக்குள் மூன்று நான்கு நாள்களுக்கு வைக்கப்பட்டது. தகட்டை உருத்துலக்கி டெலிஃபேன்டோவினால் ஆராய்ந்தபோது பல விண்மீன் வடிவப் படிவங்கள் காணப்பட்டன. விண்மீன் வடிவத்தில் ஒவ்வொரு கிளையும் ரேடியத்திலிருந்து வெளிப்பட்ட ஒவ்வோர் ஆல்ஃபாத் துகளின் பாதையைக் குறிக்கிறது. எலெக்ட்ரான்களும் காமாக் கதிர்களும் பசையில் தெளிவான பாதைகளைத் தோற்றுவிக்கவில்லை. இம் முறையில் வலிமை குன்றிய கதிரியக்கப் பொருள்களின் சிதைவு ஆராயப்படுகிறது.

வேறு முறைகளால் கண்டுணர முடியாத நியூட்ரான்களைக் கண்டுணர, பசையில் லிதியம்-6 அல்லது போரான்-10 சேர்க்கப் படுகிறது. இவை சேர்க்கப்பட்டவுடன் பசை மிகவும் உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்ததாகிவிடுகிறது. இந்த இரு நியூக்ளைடுகளும் (nuclide) இடையீட்டுச் செயல்களுக்கு ஏற்ற குறுக்களவு உடையவை. இதனால் ஆல்ஃபா மற்றும் H^3 பாதைகள் நன்கு தெரிகின்றன; நுண்ணோக்கியால் ஆராய வேண்டியதில்லை.

இப் பசை சுகாதார ஊழியர்களுக்குப் பயன்படுகிறது. கதிரியக்கத் தீமை பரவியுள்ள ஓரிடத்தில் பணிபுரியும் ஊழியர்,

இப் பசை உள்ள படச்சுருள் தாங்கிய சிறிய கருவியுடன் செயற்பட்டால், பின்னர் அதனை உருத்துலக்கும் போது எந்தெந்த அளவில் பீட்டாத் துகள்கள், நியூட்ரான்கள், எக்ஸ் மற்றும் காமாக் கதிர்கள் அவ்விடத்தில் பரவியுள்ளன எனக் கணக்கிடலாம்.

அணுக்கருப் பசை ஆட்டோரேடியோகிராஃபியிலும் (auto-radiography) பயன்படுத்தப்படுகிறது. செடியிலுள்ள ஓர் இலை அல்லது தைராயிடு சுரப்பியின் ஒரு நுண்ணிய பகுதி போன்ற உயிருள்ள பகுதியில் கதிரியக்கப் பொருள்கள் எவ்வாறு பரவியுள்ளன என்பதைத் தீர்மானிக்கும் முறைக்கு ஆட்டோரேடியோகிராஃபி எனப் பெயர். ஆராயப்பட வேண்டிய மாதிரிப் பகுதி அணுக்கருப் பசையோடு நீண்ட நேரம் ஒட்டி வைக்கப்படுகிறது. இந்த நேரத்திற்குள் மாதிரிப் பகுதியின் பல்வேறு பாகங்களிலிருந்தும் கதிர்கள், வெள்ளி ஹேலைடு நுண்குறுணைகளைச் செயற்படுத்துகின்றன. பின்னர் உருத்துலக்கினால் எந்த இடத்திலிருந்து கதிரியக்கம் தோன்றுகிறது என அறியலாம்.

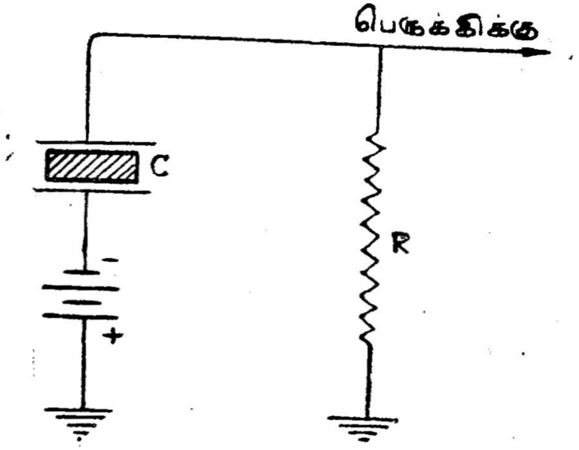
அணுக்கருப் பசைகள் மிக லேசானவை. நூறு, இருநூறு பசைகளை அடுக்கி, ஒளி புகா வண்ணம் கறுப்புக் காகிதத்தால் சுற்றி, பலூன்களில் வைக்கப்பட்டுப் பதினையாயிரம் அடிகளுக்கு மேற்பட்ட உயரத்திற்கு அனுப்பப்படுகின்றன. இவற்றைக் கொண்டு முதன்மைக் காஸ்மிக் கதிர்களை (primary cosmic rays) ஆராய்கின்றனர். இவ்வித ஆய்வுகளை இம் முறையால் மட்டுமே செய்யலாம். அணுக்கருச் சிதைவுகள், காஸ்மிக் கதிர் விண்மீன், காஸ்மிக் கதிரின் கனமான அணு ஆகியவற்றைப் பற்றிய பல உண்மைகள் இம் முறையால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

சிறப்புகள் : முகிற்கலன், விரிவுக்குப் பின்னர் விநாடியில் ஒரு சிறு பகுதிக்கு மட்டுமே உணர்திறனுள்ளதாக இருக்கிறது. அடுத்தடுத்த விரிவுகளுக்கிடையே பல செகண்டுகளுக்குச் செயலற்று இருக்கிறது. ஆனால், அணுக்கருப் பசை, தகடு செயலாற்றப்படும் நேரம் முழுவதும் தொடர்ந்து உணர்திறனுள்ளதாக இருக்கிறது. முகிற்கலன் பெரியதாகவும், கனமானதாகவும், விலையுயர்ந்ததாகவும் இருக்கிறது. ஆனால், இது எளிய, வலிவான, லேசான கருவியாகவும் எங்கும் எடுத்துச் செல்லக் கூடியதாகவும் இருக்கிறது. இது நிலையான பதிவாக விளங்குகிறது. பல்லாயிரக்கணக்கான முகிலறைப் படங்கள் தேவைப்படும் இடத்தில் ஒரேயொரு நேரடியான நிலையான பதிவிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட வினையின் முடிவுகளை அறியலாம்.

குறைகள் : இயங்கெல்லை நீளங்களை அளக்கும்போது, குறிப்பாகக் குத்துச்சரிவான ஆழ்கோணத்திலுள்ள பாதைகளின் இயங்கெல்லை நீளங்களைச் சரிவர அளக்க முடியாது. காந்தப்புலத்தில் பாதைகளின் குழிவை (curvature) அளவிட முடியாது ; பாதைகளின் நீளம் மிகக்குறுகலாக இருப்பதே இதற்குக் காரணம். மேற்கூறிய இரு குறைகளும் முகிற்கலனில் இல்லை. பசையின் தடிமனும், உணர்வுநுட்பமும் வெப்ப நிலை, ஈரப்பதம் (humidity), உருத்துலக்கப்படும் சூழ்நிலைகள் காரணமாகப் பாதிக்கப்படுகின்றன.

படிக எண்ணி

சில வகை வைரங்களைக்கொண்டு சர். ராபர்ட்சன் (Sir Robertson) என்பவர் முதல் படிக எண்ணியை (crystal counter) 1934-ம் ஆண்டு உருவாக்கினார். இவ் வைரங்களில் ஒளி படும்போது ஒளியின் விளைவும், கடத்தல் ஒளியின் விளைவும் (photo conductivity) ஏற்படுவதை அவர் கண்டார். 1945-ம் ஆண்டு வான் ஹீர்டன் (Van Heerdan) என்பவர் படிகங்களைக் கதிரியக்க அளவீடுகளுக்குப் பயன்படுத்தினார். வெள்ளி



படம் 3—21.
படிக எண்ணியின் வரிவடிவு அமைப்பு.
C—இயற்கையான படிகம், R—மின்தடை.

குளோரைடு படிகங்களைக்கொண்டு அவர் வெற்றிகரமான முடிவுகளைப் பெற்றார். 1947-ம் ஆண்டு பெல் சோதனைச்சாலையில்

(Bell laboratory), ஊல்ட்ரிட்ஜ், அஹியர்ன், பர்டன் (Wooldridge, Ahearn, Burton) ஆகியோர் வைரத்தைப் பயன்படுத்தி ஆல்ஃபாத் துகள் எண்ணுவதில் வெற்றி கண்டனர். 1948-ல் கர்ட்டிஸ், பிரவுன் (Curtis, Brown) ஆகியோர் வைரத்தைக் கொண்டு காமாக் கதிர் கண்டுணர் கருவியை உருவாக்கினர். இவ்வாருகக் கதிரியக்க அளவீடுகளில் படிக எண்ணியும் (Crystal counter) ஓர் இடத்தைப் பெற்றது.

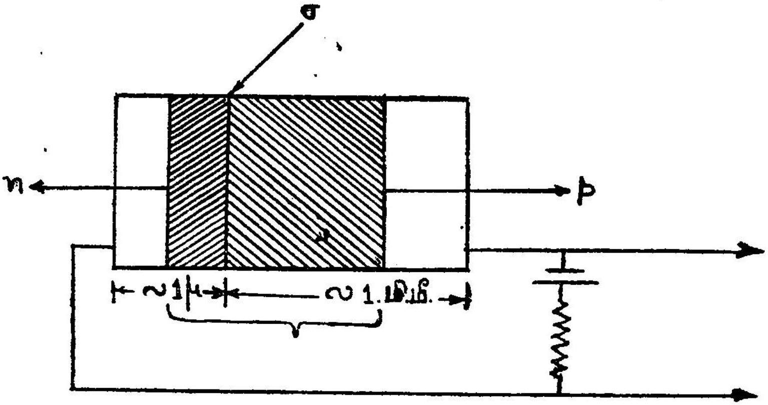
படிக எண்ணியின் வரிவடிவ அமைப்பு படம் 3-21-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அதிக மின்னழுத்தமுள்ள இரு உலோக மின்வாய்களுக்கு இடையில் வைரம் அல்லது வெள்ளி குளோரைடு அல்லது லிதியம் ஃபுளோரைடு (lythium floride) போன்ற இயற்கையான படிகம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. படிகத்தில் கதிரியக்கக் கதிர்கள் படும்போது, அதன் குறுக்கே ஒரு மின்துடிப்பு ஏற்படுகிறது. இம் மின்துடிப்பு பின்னர் பெருக்கப்படுகிறது. கதிரியக்கக் கதிர் அல்லது துகள் படிகத்தில் பட்டவுடன் படிக அணிக் கோவையிலுள்ள (crystal lattice) ஓர் அணுவிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் வெளி யேற்றப்படுகிறது. இந்த எலெக்ட்ரான் நேர்மின்வாயால் கவர்ந்திழுக்கப்படுகிறது. நேர்மின்வாயை நோக்கிச் செல்லும் எலெக்ட்ரான் முடுக்கப்படுகிறது. அது தன் வழியில் மற்ற அணுக்களோடு மோதி மேலும் பல எலெக்ட்ரான்களை வெளி யேற்றுகிறது. அது நேர்மின்வாயை அடையும்போது அளவீடு செய்யக்கூடிய அளவுக்குத் துடிப்பு உண்டாக்கக்கூடிய அளவு எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுத்தப்படுகின்றன.

இது கைகர் கணிப்பானைவிடச் சற்று வேகமாகத் துகள்களை எண்ணக்கூடியது. ஆனால், தேவைப்படும் கதிரியக்கச் சோதனைக் கேற்பப் படிகங்கள் தேர்ந்தெடுக்கப்படவேண்டும். எல்லா வைரங்களும், ஆல்ஃபாத் துகள்களைக் கண்டுணரப் பயன்பட்ட போதிலும் நூற்றில் ஒன்றுதான் காமாக் கதிர்களுக்குப் பயன்படும்.

குறை கடத்தி எண்ணி

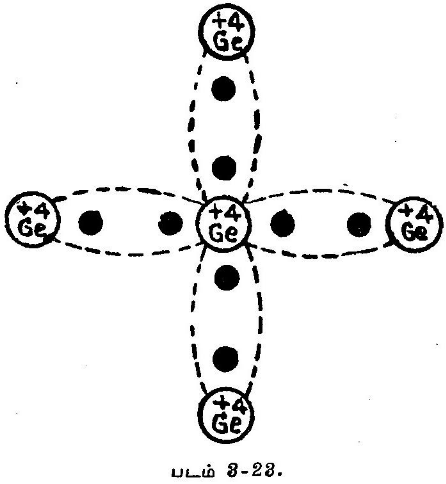
குறைகடத்தி (semi conductors) இணைந்த கருவிகள் பல அண்மைக் காலத்தில் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இவை செயற் படும் விதம் காரணமாகத் திண்ம நிலை அயனியாக்கக் கலங்கள் (solid state ionisation chambers) எனவும் அழைக்கப்படு கின்றன. இவை தம்முள் உள்ள ஆற்றலின் அளவுக்கு நேர் விகிதமான துடிப்புகளை வெளிவிடுகின்றன. இதன் வரிவடிவம்

படம் 3-22-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இக் கருவியில் ஜெர்மானியம் அல்லது சிலிகான் (germanium or silicone) குறை கடத்தியின் p-n சந்தி (junction) உள்ளது.



படம் 3-22.
குறைகடத்தி சந்தி உள்ள கண்டுணர் கருவியின் அமைப்பு
n—nவகை சிலிகான் ; p—pவகை சிலிகான் ; J—சந்தி

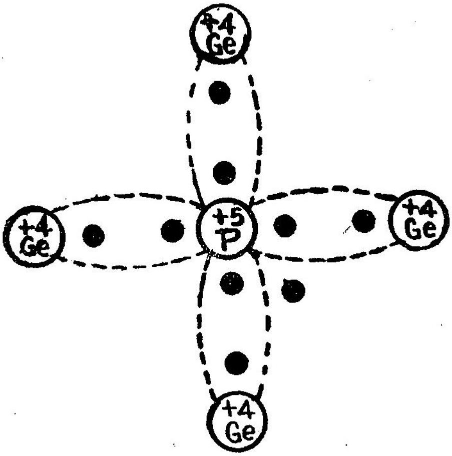
குறைகடத்தியின் சந்திகள் உண்டாக்கப்படும் விதத்தைச்



படம் 3-23.
சுத்தமான ஜெர்மானியப் படிக அணிக்கோவையின் மாதிரி அமைப்பு.

சற்று பார்ப்போம். குறைகடத்திகள் செம்பு, வெள்ளி போன்ற

உலோகங்களைப் போல நல்ல கடத்திகள் அல்ல. மரம் போன்ற கடத்தாப் பொருள்களும் அல்ல. இரண்டிற்கும் இடையே உள்ளவை. அவற்றுடன் சில தனிமங்களைச் சேர்த்தால் அவை எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடும். ஜெர்மானிய அணுவின் கடைசி வெளிச்சுற்றுப் பாதையில் நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. (படம் 3-23.) படிக அணிக்கோவையிலுள்ள ஜெர்மானிய அணுக்களின் வெளி நான்கு எலெக்ட்ரான்களும் அருகே உள்ள வேறு நான்கு அணுக்களுடன் சேர்ந்து பிணைக்கப்பட்டிருப்ப தால், தனி எலெக்ட்ரான்கள் ஏதுமில்லை. இப்போது, இந்தச் சுத்தமான ஜெர்மானியத்தில், கூடுகை எண் ஐந்தாக உள்ள

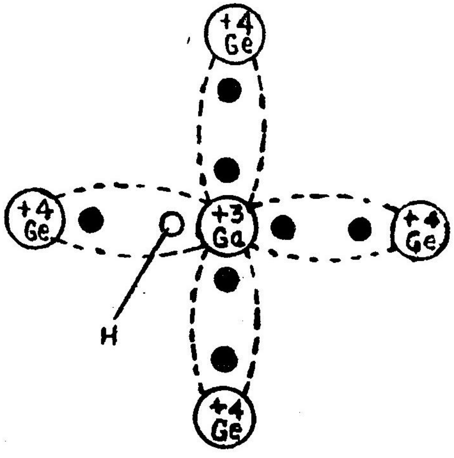


படம் 3–24
n வகை மாசு உள்ள ஜெர்மானியப் படிக அணிக்கோவையின் மாதிரி.

பாஸ்பரஸ் அல்லது ஆன்டிமணியில் (antimony) ஒரு சிறிது கலந்தால் நிலைமை மாறிவிடுகிறது. பாஸ்பரஸில் உள்ள அணு வின் வெளிச்சுற்றில் ஐந்து எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இவை ஜெர்மானியப் படிகத்தில் அமையும்போது, ஒவ்வோர் அணு விலும் உள்ள 5 எலெக்ட்ரான்களில் 4 தம்மைச் சுற்றியுள்ள 4 ஜெர்மானிய அணுக்களுடன் பிணைக்கப்படுகின்றன. ஆனால், ஐந்தாவது எலெக்ட்ரான் பிணைக்கப்பட வழியில்லாததால், சுற்றுப்பாதையிலிருந்து வெளிவந்து தனி எலெக்ட்ரானாகி விடுகிறது (படம் 3-24.) இவ்வாறு, பாஸ்பரக் கலப்பு சேர்ந்த வுடன் ஜெர்மானியப் படிகத்தில் பல தனி எலெக்ட்ரான்கள்

உண்டாகிவிடுகின்றன. தனி எதிர் மின்னூட்டங்கள் (negative-n), அதாவது,எலெக்ட்ரான்கள் உண்டாவதால், இதற்கு n வகை ஜெர்மானியம் எனப் பெயர். படிகத்தின் இரு முனைகளிடையே மின்னழுத்தம் செலுத்தப்பட்டால், தனி எலெக்ட்ரான்கள் நேர்மின்வாயை நோக்கிச் செல்வதால் மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது.

அலுமினியம் அல்லது காலியம் (gallium) போன்ற கூடுகை எண் 3 உடைய தனிமங்களின் சிறு அளவை ஜெர்மானியப் படிகத்துடன் கலந்தால், அவற்றின் கடைசிச் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள 3 எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றிலுமுள்ள 3 ஜெர்மானிய அணுக்களுடன் பிணைக்கப்படுகின்றன. நான்காவது ஜெர்மானிய அணுவுடன் பிணைபட ஏதுமில்லை. அக் காலியிடத்திற்கு மின்துளை (hole) எனப் பெயர். (படம் 3-25.)



படம் 3-25.
p வகை மாசு உள்ள ஜெர்மானியப் படிக அணிக்கோவையின் மாதிரி ;
(H—மின்துளை).

அணிக்கோவை அதிர்வுகளால் மற்ற அணுக்கள் அருகில் வரும் போது ஏதாவதோர் அணுவிலிருக்கும் எலெக்ட்ரான் அக் காலியிடத்தில் சேர்ந்துவிடுகிறது. இப்படியே இக் காலியிடம் அங்கும் இங்கும் செல்கிறது. இதற்கு p வகை ஜெர்மானியம் எனப் பெயர். இதன் இருமுனைகளுக்கு மின்னழுத்தம் கொடுத்தால் மின்துளைகள் எதிர்மின்வாயை நோக்கிச் சென்று மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துகின்றன.

ஒரே படிகத்தில் n வகை, p வகைப் பகுதிகளை ஏற்படுத்தி விட்டால் அவை இரண்டிற்குமிடையே உள்ள எல்லைக்கு p–n சந்தி எனப் பெயர்.

கதிரியக்கத்தைக் கண்டுணர p வகைச் சிலிகானில் ஒரு மைக்ரான் ஆழத்திற்குப் பாஸ்பரஸ் பரப்பப்படுகிறது. இதன் இரு முனைகளுக்கிடையே ஒரு மின்புலம் செயற்படுகிறது. உள்ளே நுழையும் துகள், தன் முழு ஆற்றலையும் இழப்பதால் அதன் இயக்க ஆற்றலுக்கு நேர் விகிதமான துடிப்புகள் வெளிப் படுகின்றன. ஜெர்மானியக் குறைகடத்திக் கருவிகளை மிகக் கவனமாகக் கையாள வேண்டும். இவை உபயோகத்தில் இல்லாத நேரங்களிலும் இவற்றை வெற்றிடத்தில், திரவ நைட்ரஜனில் 77°k வெப்ப நிலையில் வைத்துப் பாதுகாக்க வேண்டும்.

p–n சந்தியின் மின்தேக்குத் திறன் (C_O) மின் அழுத்தத்தைப் (V) பொறுத்து அமைகிறது. இந்த மின் தேக்குத்திறனைப் பொறுத்தே வெளிவரு துடிப்பு இருக்கிறது. பெருக்கியின் ஏற்பளவு மின்தேக்குத் திறனும் (C_A) துடிப்புடன் தொடர் புடையது.

$$V = \frac{Q}{C_A + C_O}$$

எனவே, மின்னழுத்தம் அல்லது மின்தேக்குத் திறனில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் வெளிவரு துடிப்புகளின் அளவை மாற்றும் தன்மை வாய்ந்தவையாக இருப்பதைக் காணலாம். எனவே, இதன் முழுப் பயனையும் பெறச் சாதாரணமாக வழக்கில் இருக்கும் மின்னழுத்த—உணர்வுடைய பெருக்கிக்குப் பதில், சிறப்பான மின்னூட்ட—உணர்வுடைய பெருக்கி பயன்படுத்தப் படுகிறது.

வாயு அயனியாக்கக் கலத்தைவிட இதில் நல்ல முடிவுகள் கிடைக்கின்றன. ஏனெனில், ஓர் எலெக்ட்ரான்–மின் துளை இரட்டையை உருவாக்க 3·5 எலெக்ட்ரான் வோல்ட் அளவு ஆற்றலே தேவைப்படுகிறது. இது அளவிலும் மிகச்சிறியதாக இருக்கிறது; (கனம் ~ 1 மி.மீ. பரப்பு ~ 1 செ.மீ.²) ஒரு தோற்றுவாயிலிருந்து வெவ்வேறு கோணங்களில் சிதறும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் ஆற்றல் பங்கீடுகளைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட முடிகிறது. இவற்றைக்கொண்டு ஆல்ஃபா மற்றும் காமாக் கதிர் நிறமாலை அளவீடுகளில் நல்ல முடிவுகள் கிடைத்துள்ளன.

பீட்டாக் கதிர் நிறமாலைமானி

ஒரு ரேடியோ நியூக்ளைடால் வெளிவிடப்படும் பீட்டாத் துகள்களின் ஆற்றல் பகிர்வை ஆராய 'பீட்டாக் கதிர் நிறமாலை மானி' (Beta ray Spectrometer) பயன்படுகிறது. இது அதிக ஆற்றல் பிரிதிறனைப் பெற்றுள்ளது. தட்டையான மற்றும் திருகுசுழலான (helical) வகை காந்த நிறமாலைமானிகள் இதற்குப் பயன்படுகின்றன. இவற்றின் ஆற்றல் மட்ட மாற்றங்களுக்கும் (transmission), பிரிதிறனுக்கும் உள்ள தொடர்பின் மூலம் இவற்றின் சிறப்பை அறியலாம்.

திருகுசுழலான வகை நிறமாலைமானிகளில், நிறமாலை மானியின் அச்சிலுள்ள புள்ளித் தோற்றுவாயிலிருந்து, உந்தம் $p = mv$ உடைய β துகள்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. நிறமாலைமானியின் அச்சுக்கு σ கோணத்தில் வரும் β துகள்கள், தோற்றுவாயிலிருந்து Z' தூரத்தில் அச்சில் வளையமாகக் குவிக்கப்படுகின்றன. காந்தப்புலம் B ஆக இருந்தால்,

$$\tan\left(\frac{Be\,z'}{2\,p\cos\sigma}\right) = -\left(\frac{Be\,z'}{2\,p\cos\sigma}\right)\tan^2\sigma \qquad -(1)$$

மேலும், வளையக் குவியத்தின் (ring focus) ஆரம்,

$$r' = \frac{2\,p\sin\sigma}{Be}\sin\left(\frac{Be\,z'}{2\,p\cos\sigma}\right) = f(\sigma) \qquad -(2)$$

நிறமாலைமானியின் ஆற்றல் மட்ட மாற்றம்

$$T = \tfrac{1}{2}(\sin\sigma)\,\delta\sigma \qquad -(3)$$

β துகள்கள் வரும் கோணம் σ வில், குறிப்பிட்ட கோணமான $\delta\sigma$-வுக்கு, வளையக் குவியத்தின் குறிப்பிட்ட ஆரம் $\delta r'$.

$$\delta r' = f(\sigma + \delta\sigma) - f(\sigma)$$

$$= \left[f(\sigma) + \frac{df(\sigma)}{d\sigma}\delta\sigma + \frac{1}{2!}\frac{d^2 f(\sigma)}{d\sigma^2}(\delta\sigma^2) + \dots \right] - f(\sigma)$$

$$\approx \frac{1}{2}\frac{d^2 f(\sigma)}{d\sigma}(\delta\sigma)^2.$$

தோற்றுவாயிலிருந்து புறப்பட்ட பிறகு, காந்தப்புலத்தின் திசையில், t நேரத்தில் அயனி செல்லும் தூரம் Z எனக் கொள்வோம். Z = Z' ஆக இருக்கும்போது,

$$\frac{df(\sigma)}{d\sigma} = O.$$

முதல் சமன்பாட்டிலிருந்து tan (Bez'/2 p cos σ)-வுக்கு பிரதியீடு (substitute) செய்து, 1 + $\tan^2\sigma = \sec^2\sigma$ என்று எடுத்துக்கொண்டு, மூன்றாவது சமன்பாட்டையும் பயன் படுத்தி, இரண்டாவது சமன்பாட்டிலுள்ள f (σ) வை, σ-வைக் குறித்து வகையீடு (differentiate) செய்தால்,

$$\delta r' = \frac{(\delta\sigma)^2}{z} z' \tan\sigma . \cos\left(\frac{Be\,z'}{2p\cos\sigma}\right) \left[3\sec^2\sigma + \left(\frac{Be\,z'}{2p\cos\sigma}\right)^2 \tan^4\sigma\right]$$

$$= \frac{2T^2}{\sin^2\sigma} z' \tan\sigma \cos\left(\frac{Be\,z'}{2p\cos\sigma}\right) \left[3\sec^2\sigma + \left(\frac{Be\,z'}{2p\cos\sigma}\right)^2 \tan^4\sigma\right] \quad \text{—(4)}$$

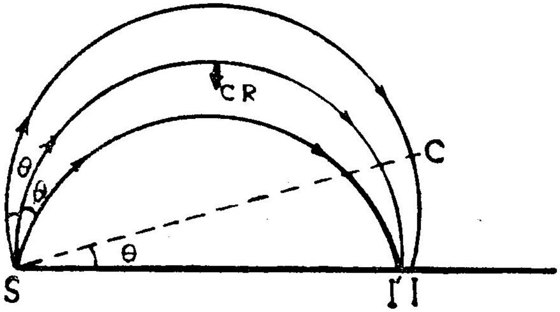
புள்ளித் தோற்றுவாயிலிருந்து σ திசையில் வெளிவிடப் பட்ட பீட்டாத் துகள்கள் z' தூரத்தில் r' ஆரமுள்ள வளையக் குவியமாக குவிக்கப்படுகின்றன. இந்த β துகள்களின் உந்த எல்லை δp, கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு மூலம் கிடைக்கிறது.

$$\left[\frac{\delta p}{p}\right] = \frac{\delta r'}{z' \tan\sigma . \sec^2\sigma . \cos(Be\,z'/2p\cos\sigma)}$$

$$= 2T^2 \frac{3\sec^2\sigma + (Be\,z'/2p\cos\sigma)^2 \tan^4\sigma}{\tan^2\sigma} \quad \text{—(5)}$$

இந்த ஐந்தாவது சமன்பாடு, கருவியின் உந்தப் பிரிதிற னுக்கும், ஆற்றல் மட்ட மாற்றத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டுகிறது. T நிலையாக இருந்தால், σ = 45° ஆக இருக்கும் போது, பெரும அளவு பிரிதிறன் கிடைக்கிறது.

தட்டையான வகை (flat) நிறமாலைமானிகளில், புள்ளித் தோற்றுவாய் S-லிருந்து வெளிப்படும் β துகள்கள் I என்ற புகைப்படத் தட்டை அடைகின்றன. இது படம் 3-26-ல்



படம் 3-26
பீட்டாக் கதிர் நிறமாலைமானியில், பீட்டாத் துகள் செல்லும் பாதையையும் கோணங்களையும் காட்டும் படம்.

காட்டப்பட்டுள்ளது. இத்துகள் நடுக்கதிர் வழியாகச் செல்லும் போது இதன் அரை வட்டப் பாதையின் விட்டம் ρ (= SI) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது.

$$e = \frac{p}{Be}$$

வேறொரு கதிர்வழியாகச் செல்லும் β துகள், இதே உந்தம் p யுடன், நடுக்கதிருக்கு σ கோணத்தில் செல்கிறது. இதன் விட்டம் SC, SI-க்கு σ கோணத்தில் சாய்ந்துள்ளது. இக் கதிர் SI-யை I'-ல் வெட்டும். இங்கு

$$SI' = SC \cos \sigma$$

$$\therefore \quad I'I = SI - SI' = 2\rho\,(1 - \cos \sigma)$$

$$\approx \rho\sigma^2$$

மேலும், $\delta p = Be.\,\delta p = Be\,\rho\sigma^2 = p\,\sigma^2$

$$\therefore \frac{\delta p}{p} = \sigma^2 = 4\,T.$$

என்று காட்டலாம்.

சில மி.மீ. நீளமும், ஒரு மி.மீ. க்கும் குறைவான விட்டமும் உடைய ஒரு மெல்லிய கம்பியில் தோற்றுவாய் வைக்கப்படு கிறது. தோற்றுவாயால் β துகள்கள் உட்கவரப்படுவதைத் தவிர்ப்பதற்காகவே, தோற்றுவாய் மெல்லியதாக இருக்க வேண்டும். β துகள்களைக் கண்டுணர ஒரு புகைப்படத் தட்டைப் பயன்படுத்தினுல், தட்டில் β துகள்கள் பதிவு செய்யப்படும். தட்டிலுள்ள சுவடுகளை ஆராய்வதன் மூலம் உந்தம் அல்லது ஆற்றல் பகிர்வுகளைக் கணக்கிடலாம். எனினும் இது அவ்வளவு துல்லியமான முறை அல்ல.

புகைப்படத் தட்டுக்குப் பதிலாக ஓர் எண்ணியைப் பயன் படுத்தினுல் நல்ல முடிவுகள் கிடைக்கின்றன. கொடுக்கப் பட்டுள்ள மதிப்புள்ள காந்தப்புலத்திற்கு, கொடுக்கப்பட்டுள்ள உந்தமுடைய பீட்டாத் துகள்களை மட்டும், எண்ணி பதிவு செய்கிறது. இவற்றை வேறுபடுத்தித் தேவையான β துகள் களின் ஆற்றல் பகிர்வைக் கணக்கிடலாம்.

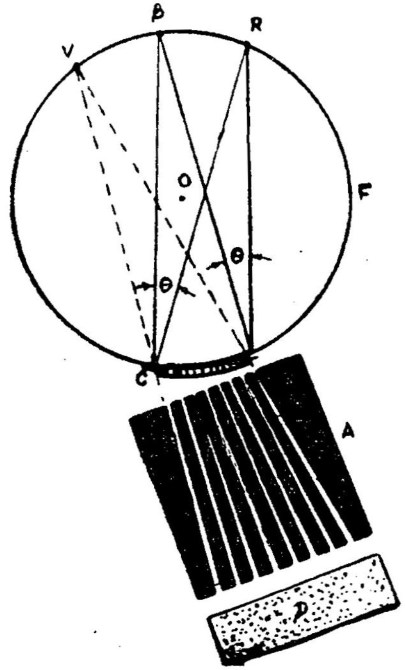
ரேடியோ நியூக்ளைடுகளால் வெளிவிடப்படும் β துகள் களின் வேகம், ஒளியின் வேகத்திற்கு அருகில் இருப்பதால், துகள்களின் உந்தத்தையும் ஆற்றலையும் கணக்கிடும்போது, அவற்றின் நிறையில் ஏற்படும் சார்பு வேறுபாடுகளையும் (relativistic variations) கருத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

காமாக் கதிர் நிறமாலைமானி

ரேடியோ நியூக்ளைடுகளிலிருந்து வரும் காமாக் கதிர்களின் அலைநீளம் 0·004°A-லிருந்து 0·4°A வரை இருக்கும். அவற்றைக் குறைந்த அலைநீளமுள்ள எக்ஸ் கதிர்களாகக் கருதலாம். எக்ஸ் கதிர் நிறமாலை முறையை, தேவையான முறையில் மாற்றி அமைத்து இதற்கும் பயன்படுத்தலாம். காமாக் கதிர்களின் அலைநீளம் 0·1°A (ஆம்ஸ்ட்ராங் அலகு)விட அதிகமாக இருக்கும் போது பிராக் முறையைப் (Bragg Method) பயன்படுத்தலாம்.

காமாக் கதிர்கள் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள்; எனவே, ஒரு படிகத்தை விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணியாகப் (diffraction grating) பயன்படுத்திக் காமாக் கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் கண்டு பிடித்து அதிலிருந்து ஆற்றலைக் கணக்கிடுவதே மிக நேரடியான முறையாகும். டூமான்ட் என்பவர் பயன்படுத்திய 'வளைந்த படிகக் குவிக்கும் வகை நிறமாலைமானி' (curved crystal focussing type Spectrometer) என்ற மிக நுணுக்கமான கருவியின் அமைப்பு படம் 3·27-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் C என்பது

விளிம்பு விளைவை உண்டாக்கும் குவார்ட்ஸ் படிகம். இந்தப் படிகம் வளைக்கப்பட்டு, விளிம்பு விளைவை உண்டாக்கும் அதன் தளங்கள் நேர்கோட்டில் நீட்டப்படும்போது, B-யில் சந்திக்கும் படியாக, படத்தின் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக, தாங்கியில் நிலை நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. படிகத்தின் வளைவு ஆரம், குவிக்கும் வட்டமான F-ன் விட்டத்திற்குச் சமமாக உள்ளது. இதன் அளவு இரண்டு மீட்டர் ஆகும். காமாக் கதிர்களின் தோற்றுவாய் மெய்க்குவியமான R-லிருந்து வெளிப்படுகிறது. பிராக்



படம் 3-27.

வளைந்த படிகமுடைய காமாக் கதிர் நிறமாலைமானியின் வரிவடிவ அமைப்பு.

C—விளிம்பு விளைவை உண்டாக்கும் குவார்ட்ஸ் படிகம்; F—குவிக்கும் வட்டம்; R—மெய்க் குவியம்; V—மாயமூலம்; O—பிராக் கோணம்; D—கண்டுணர் கருவி.

விதியான (Bragg's law) $n\lambda = 2d \sin \sigma$ அனுசரிக்கப்பட்டால், கண்டுணர் கருவியான D-யினுள் ஒரு விளிம்பு விளைவடைந்த காமாக் கதிர்க் கற்றையொன்று, V-இல் உள்ள மாய மூலத்திலிருந்து (Virtual Source) வந்ததுபோல் நுழைகின்றது. பிராக் கோணம் σ-ஆல் குறிக்கப்படுகிறது.

ஒவ்வொரு வேறுபட்ட அலைநீளத்திற்கும், குவிக்கும் வட்டத்தின் மேல் ஏதோ ஒரு புள்ளியில் விளிம்பு விளைவுக் கற்றையை உண்டாக்கும் மூலத்தின் குறிப்பிட்ட நிலை உள்ளது. கண்டுணர் கருவியின் எண்ணிக்கை வீதம், காமாக் கதிர்த் தோற்றுவாய் குவிக்கும் வட்டத்தின்மேல் நகர்த்தப்படும்போது அதன் நிலையின் ஒரு சார்பாகக் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. வலிமையான விளிம்பு விளைவுற்ற கற்றை உண்டாகும் புள்ளியில் எண்ணிக்கை வீதம் திடீரென ஒரு பெரும அளவை அடைகிறது. இந்தப் புள்ளியின் நிலை, காமாக் கதிர்களின் அலைநீளத்தை நிர்ணயிக்கிறது. அலை நீளத்திலிருந்து காமாக் கதிர்களின் அதிர்வெண்ணும், அதிலிருந்து அவற்றின் ஆற்றலும் கணக்கிடப்படுகிறது.

இம் முறையில் கிடைக்கும் முடிவுகள் மிகத் துல்லியமான அளவுகளைக் கொடுக்கின்றன. Au^{198}-ன் β சிதைவுடன் தொடர்ந்து வெளிப்படும் காமாக் கதிரின் ஆற்றல் $411{\cdot}770 \pm 0{\cdot}056$ Kev என்று இம்முறையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதேபோல பல அணுக்கருக்களின் γ கதிர்களின் ஆற்றலும் மிகத் துல்லியமாக இம் முறையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. படிக விளிம்பு விளைவு முறைகளில் இரண்டு இடையூறுகள் உள்ளன. முதலாவதாக, γ கதிர்களின் ஆற்றல் சுமார் 1 Mev-க்குமேல் அதிகரிக்கும்போது, அலைநீளம் குறைவதால் விளிம்பு விளைவு அளவீடுகளை ஏடுப்பது கடினமாக உள்ளது. இரண்டாவதாக, இம்முறைக்கு மிக அதிகச் சிதைவு வலிமை கொண்ட தோற்றுவாய்கள் வேண்டும்; இப்படிப்பட்ட தோற்றுவாய்கள் எளிதில் கிடைப்பதில்லை

4. இயற்கைக் கதிரியக்கமும் கதிரியக்க மாற்றத்தின் விதிகளும்

சில அணுக்களிலிருந்து ஆல்ஃபாத் துகள், பீட்டாத் துகள் வெளிப்படுவதிலிருந்து அணுக்கள் இன்னும் சிறிய அலகுகளால் ஆனவை என்பதும், அணு அமைப்பின் அடிப்படையும் (Concept) புலப்பட்டன. அணுக்களால் α துகள்கள் சிதறடிக்கப்படுவதைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளாலேயே அணுக்கொள்கைகளின் அடிப்படையான அணுக்கரு-அணு அமைப்பு (nuclear-atom model) பற்றிய கருத்து கையாளப்பட்டது. பல கதிரியக்கப் பொருள்களுக்கு இடையேயுள்ள வேதியியல் தொடர்புகளை (chemical relationship) ஆராய்ந்ததால்தான் ஐசடோப்புகள் (isotopes) கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து வரும் α துகள்களைக்கொண்டு அணுக்களைத் தாக்கியதால் (bombardment) அணுக்கருக்கள் சிதைவுற்று நியூட்ரான்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இதனாலேயே அணுக்கருவின் அமைப்பு பற்றிய தற்போதைய கருத்து உருவாகியது. 1934-ல் ஜோலியோ க்யூரி (Joliot Curie), ஐரீன் க்யூரி (Irene Curie) இருவரும் செயற்கைக் கதிரியக்கம் அல்லது தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம் (Artificial or Induced Radioactivity) என்ற புதிய விளைவைக் கண்டுபிடித்த பிறகு ஆராய்ச்சிகளில் ஒரு புது வகையான முறை கையாளப்பட்டது. இதனால் வேறுபட்ட பல முறைகளில் பல நூற்றுக்கணக்கான கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் உண்டாக்கப்பட்டன. இப்படி உண்டாக்கப்பட்ட செயற்கைக் கதிர்வீச்சுகளிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சுகளை ஆராய்ந்தபோது அணு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு (atomic energy levels) ஒத்த மாதிரியே அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களும் (nuclear energy levels) உள்ளன என்பது தெரிய வந்தது.. ஆகவே, கதிரியக்கச் சிதைவு பற்றி அறிவது முக்கியமாகும்.

இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் கதிர் வீச்சுகளை ஆராய்ந்ததாலேயே கதிரியக்க மாற்றங்களைப் பற்றிய விதிகள் (Laws of radioactive changes) உருவாக்கப்பட்டன. இவ் விதிகள் செயற்கை ரேடியோ நியூக்ளைடுகளுக்கும் மிகவும் பொருந்து

கின்றன. இவ் விதிகள் எல்லா விதக் கதிரியக்க மாற்றங்களுக்கும் பொருந்துவதால், அவை அடிப்படை விதிகளாகக் கொள்ளப் பட்டன.

கதிரியக்கச் சிதைவுக் கொள்கையின் அடிப்படை

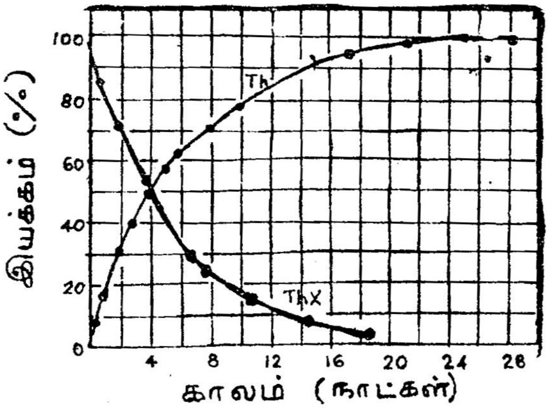
கதிரியக்க வளர்ச்சி, சிதைவு ஆகியவற்றைப் பற்றிய (அளவியலான) விளக்கத்தை முதலில் பார்ப்போம். க்ரூக்ஸ், பெக்கரல், ரூதர்ஃபோர்டு, சாடி ஆகியோர் தனித்தனியே செய்த தொடக்க காலப் பரிசோதனைகளிலிருந்தே ஒரு கதிரியக்கப் பொருளிலிருந்து இன்னொரு கதிரியக்கப் பொருள் உண்டாகும் விதம் தெரியவந்தது. 1900-ம் ஆண்டு க்ரூக்ஸ், யுரேனிய உப்புக் கரைசலில் அம்மோனியம் கார்பனேட்டைச் சேர்ப்பதால் உண்டாகும் யுரேனியம் உப்பு வீழ்படிவை, மிகையான கரைப் பானில் மறுபடியும் கரைத்தால் ஒரு சிறிய அளவு எச்சமுறுகிறது (residue) என்றும், இந்த எச்சம், கரைசலிலிருந்து வெளியே எடுக்கப்படும்போது மிக அதிகமான கதிரியக்கம் பெற்றுள்ளது என்றும் கண்டார். கரைசலே அப்படியே ஆவியாக்கினால், முழு யுரேனியத்தையும் பெற்றுள்ள வினையாக்கி (reagent) மிகச்சிறிய அளவு கதிரியக்கமே பெற்றுள்ளது. ஆகவே, யுரேனியச் சேர்மங் களில் காணப்படும் பெரும்பான்மையான கதிரியக்கம், யுரேனி யத்தினால் உண்டாக்கப்படாமல், யுரேனியத்திலிருந்து பிரிபடக் கூடிய இன்னொரு பொருளால்தான் உண்டாக்கப்படுகிறது எனத் தோன்றுகிறது. ஆகவே, இந்த எச்சத்தில் உள்ள கதிரியக் கப் பொருளை யுரேனியத்திலிருந்து பிரித்துக் குறிப்பிடுவதற்காக யுரேனியம் x(uX) எனக் குறிப்பிட்டார்கள். பெக்கரல் யுரேனியம், யுரேனியம் x இரண்டையும் சிறிது நேரத்திற்குத் தனித்து வைத்திருந்தால் uX-ன் கதிரியக்கத் தன்மை குறைவதாகவும், யுரேனியத்தின் கதிரியக்கம் அதிகமாவதாகவும் கண்டுபிடித்தார். 1902-ம் ஆண்டு ரூதர்ஃபோர்டு, சாடி ஆகிய இருவரும் தோரியம் உப்பில் இதே வினைவைக் கண்டனர். அதாவது, தோரியத்தி லிருந்து தோரியம் X (ThX) என்ற கதிர்வீச்சுப் பொருள் பிரித் தெடுக்கப்பட்ட சில நாள்களுக்குப் பிறகு, தோரியம் X-ன் கதிரியக்கம் குறைவதையும், தோரியம் X சிறிதும் இல்லாத தோரியத்தின் கதிரியக்கத் தன்மை அதிகரிப்பதும் காணப் பட்டன.

தோரியம் X-ன் கதிரியக்கச் சிதைவு வீதத்தையும் (rate of decay) தோரியத்தின் கதிரியக்க மீட்சியையும் (rate of recovery)

அளவியலான (quantitative) முறையில் ரூதர்ஃபோர்டு, சாடி இருவரும் ஆராய்ந்தனர். அவர்களின் பரிசோதனை முடிவுகள் படம் 4-1-ல் காட்டியுள்ளபடி வரைபடத்தில் குறிக்கப்பட்டன. தோரியம் X-ன் (ThX) கதிரியக்கச் சிதைவு வரைபடம் பரிசோதனைப்படி படத்தில் உள்ளது போன்று e-ன் மடித் தன்மை (exponential) பெற்றுள்ளது. அதாவது, அதன் கதிரியக்கச் சிதைவை, காலத்தின் ஒரு சார்பாக (function) கீழ்க் காணும் சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

$$A_X(t) = A_{X_0} e^{-\lambda t} \qquad \text{—(1)}$$

இதில் Ax_0 என்பது ThX-ன் தொடக்கக் கதிரியக்க அளவையும், $A_X(t)$ என்பது t காலம் கழித்து ThX-ன் கதிரியக்க அளவை



படம் 4—1

தோரியம் X-ன் கதிரியக்கச் சிதைவும், தோரியத்தின் கதிரியக்க மீட்சியும்.

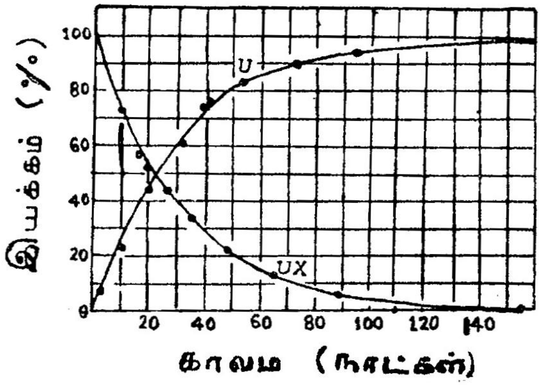
யும், λ என்பது ஒரு மாறிலியையும் குறிக்கின்றன. λ-வுக்கு சிதைவு மாறிலி (disintegration constant) என்று பெயர். இதே போன்று தோரியத்தின் கதிரியக்க மீட்சி வளைகோடு (recovery curve) படம் 4-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அதன் கதிரியக்க மீட்சியைக் கீழ்க்காணும் சமன்பாடு குறிக்கிறது.

$$A(t) = A_0\left(1 - e^{-\lambda t}\right) \qquad \text{—(2)}$$

இதில் λ ஒரு மாறிலி. சமன்பாடு (1)-ல் காணப்படும் λ-ன் மதிப்பும் இதுவும் சமமாகும். ஆகவே, ThX-ன் சிதைவு வளைகோடும் Th-ன் மீட்சி வளைகோடும் ஒத்த உருவம் கொண்டுள்ளன.

யுரேனியம் X-ன் கதிரியக்கச் சிதைவு வளைகோடு, யுரேனியத்தின் மீட்சி வளைகோடு ஆகியவை படம் 4 2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த வளைகோடுகள் தோரியம் பொருள்களின் வளைகோடுகளுடன் உருவில் ஒத்துள்ளன. கால அளவுத் திட்டம் (time scale) மட்டுந்தான் மாறுபட்டுள்ளது. ThX தன்னுடைய கதிரியக்கத்தில் பாதியை 3·5 நாள்களிலும் uX தன்னுடைய கதிரியக்கத்தில் பாதியை 24 நாள்களிலும் இழக்கின்றன. ஆகவே, ThX-க்கான λ-ன் மதிப்பு uX-க்கான λ-ன் மதிப்பை விட அதிகமாக உள்ளது.

இந்தப் பரிசோதனை முடிவுகளை அடிப்படையாகக்கொண்டு ரூதர்ஃபோர்டு, சாடி இருவரும் கதிரியக்க மாற்றங்களைப் பற்றிய ஒரு கொள்கையை உருவாக்கினார்கள். கதிரியக்கத் தனிமங்களின் அணுக்கள் புறத்தூண்டுதலற்ற (spontaneous) சிதைவை



படம் 4—2

யுரேனியம் X-ன் கதிரியக்கச் சிதைவும், யுரேனியத்தின் கதிரியக்க மீட்சியும்.

அடைகின்றன. அப்போது அவற்றிலிருந்து ஆல்ஃபா அல்லது பீட்டாத் துகள்கள் வெளிப்பட்டு அத் தனிமங்கள் புதிய தனிமங்களாக மாறுகின்றன என்று அவர்கள் கூறினர். அப்போது கதிரியக்க வலிமை, தனிமத்தில் ஓரலகு நேரத்தில் சிதைவுறும்

அணுக்களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். ஆகவே, நிகழும் கதிரியக்கம் A-ஐ அணுக்களின் எண்ணிக்கையான N ஆல் சமன்பாடுகளில் குறிப்பிடலாம். இதனால் சமன்பாடு (1)

$$Nx\,(t) = Nx_0\, e^{-\lambda t} \qquad \text{—(3)}$$

என்ற அமைப்பைப் பெறுகிறது. இதில் கதிரியக்கமுள்ள X பொருள் அதன் மூலப்பொருள் ஆகியவற்றைப் பிரித்துணரப் பயன்பட்ட X என்ற குறியை நீக்கிவிட்டால் (1) வது சமன்பாடு

$$N(t) = N_o\, e^{-\lambda t} \qquad \text{—(4)}$$

என்றாகிறது. இந்தச் சமன்பாடு, t காலத்தில் ஒற்றைச்சிதைவுறும் கதிரியக்கப் பொருளில் (single decaying radioactive substance) உரு மாற்றமுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கின்றது. இந்தச் சமன்பாட்டின் இருபக்கங்களுக்கும் வகையீடு காணில் (differentiating)

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \qquad \text{—(5)}$$

இங்கு N என்பது N(t)-ஐக் குறிக்கிறது. சமன்பாடு (5) படி கதிரியக்கச் சிதைவினால் தனிமத்தில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையில் ஓரலகு நேரத்தில் ஏற்படும் குறைவு, அத்தனிமத்தில் இன்னும் சிதைவுறாமல் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. இங்கு உள்ள தகவு மாறிலி (constant of proportionality) தனிமத்தின் சிதைவு மாறிலியேயாகும். இந்தச் சிதைவு மாறிலி அந்தக் குறிப்பிட்ட கதிரியக்கப் பொருளின் சிறப்பியல்பை ஒத்த ஒன்றாகும்.

கதிரியக்கச் சிதைவின் அடிப்படைச் சமன்பாடாக சமன்பாடு (5) அமைந்துள்ளது. இந்தச் சமன்பாட்டைக்கொண்டு மேலும் இரு தற்கோள்களுடன் (assumption) தோரியம் X, யுரேனியம் X ஆகியவற்றிலிருந்து பிரித்துவைக்கப்பட்டுள்ள தோரியம், யுரேனியம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்க மீட்சியை விளக்க முடிந்தது. இங்கு எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட இரு தற்கோள்கள்: (1) ஒரு கதிரியக்கப் பொருளினால் (உதாரணமாக யுரேனியம்) நிலையாக எப்போதும் ஒரு புதிய கதிரியக்கப் பொருள் (uX)

உண்டாக்கப்படுகிறது. (2). புதிய கதிரியக்கப் பொருள் uX-ம் சமன்பாடு (5) படி சிதைவுறுகிறது. கொடுக்கப்பட்ட ஒரு நிறையுள்ள யுரேனியத்தால், ஒரு செகண்டு நேரத்தில் உண்டாக்கப்படும் uX அணுக்களின் எண்ணிக்கை Q என்றும், தொடக்கத்தில் uX தனிமத்தை முழுமையாக நீக்கிய பிறகு t நேரத்தில் உள்ள uX அணுக்களின் எண்ணிக்கை N என்றும் வைத்துக்கொண்டால், யுரேனியத் தொகுப்பில் உள்ள uX அணுக்களின் அதிகரிப்பு வீதம்

$$\frac{dN}{dt} = Q - \lambda N \qquad \text{—(6)}$$

ஆகும். சமன்பாடு (6)-ன் வலப்பக்கமுள்ள முதல் எண் யுரேனியம் அணுக்களிலிருந்து uX அணுக்கள் உண்டாகும் வீதத்தையும் இரண்டாவது எண் கதிரியக்கச் சிதைவினால் uX அணுக்கள் மறையும் வீதத்தையும் குறிப்பிடுகின்றன. சமன்பாடு (6)-க்குத் தொகுதி காணில்,

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = Q$$

முழுவதையும் $e^{\lambda t}$ ஆல் பெருக்கினால்

$$e^{\lambda t}\frac{dN}{dt} + \lambda N e^{\lambda t} = Qe^{\lambda t}$$

அல்லது $$\frac{d}{dt}\left(Ne^{\lambda t}\right) = Qe^{\lambda t}$$

இக் கடைசிச் சமன்பாட்டைத் தொகுதி காணில்,

$$Ne^{\lambda t} = \frac{Q}{\lambda}e^{\lambda t} + C$$

அல்லது, $$N = \frac{Q}{\lambda} + Ce^{-\lambda t}$$

இதில் C-ன் மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்க $t=0$ எனும்போது $N=O$

ஆகவே, $C = -\frac{Q}{\lambda}$

எனவே, $$N = \frac{Q}{\lambda}\left(1-e^{-\lambda t}\right) = N_0\left(1-e^{-\lambda t}\right) \qquad —(7)$$

இங்கு $N_0 = \frac{Q}{\lambda}$

சமன்பாடு (7), கதிரியக்க மீட்சிச் சமன்பாடு (2) ஆகும்.

ஆகவே, யுரேனியம், தோரியம் ஆகியவற்றிலிருந்து அவற்றின் X பொருள்கள் நீக்கப்பட்ட பிறகு அவற்றில் ஏற்படும் கதிரியக்க மீட்சியை இக் கொள்கை சரியாக விளக்குகிறது. சமன்பாடு (7)-லிருந்து குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள யுரேனியத்தில் உள்ள uX அணுக்களின் எண்ணிக்கை t-ன் பெரிய மதிப்புகளுக்கு ஒரு சமநிலை மதிப்பை (equilibrium value) நெருங்குகிறது என்பதையும் காட்டுகிறது. இந்தச் சமநிலை மதிப்பு :

$$\frac{Q}{\lambda} = \frac{\text{யுரேனியத்திலிருந்து ஒரு செகண்டில் உண்டாகும் uX அணுக்களின் எண்ணிக்கை}}{\text{ஒரு செகண்டில் சிதைவுறும் uX அணுக்களின் அளவு}}$$

கதிரியக்கத் தனிமங்களின் அணு அமைப்பைப் பற்றியோ அல்லது கதிரியக்கச் சிதைவைப் பற்றியோ எந்த விதப் புனைவு கோளும் (hypothesis) இன்றி 1905-ல் இ. வான் ஸ்வைட்லர் (E. Von Schweidler) என்பவர் கதிரியக்கச் சிதைவின் e-ன் மடி (exponential) விதியைக் கணித்தார். கதிரியக்கத் தனிமம் ஒன்றன் ஓர் அணுவின் சிதைவு, வாய்ப்பு விதிகளைப் (laws of chance) பொறுத்தது எனக் கொண்டார். அதாவது, ஓர் அணு, ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியான Δt-ல் சிதைவுறும் வாய்ப்பு p ஆனது அந்த அணுவின் முன்னைய சரித்திரத்தைப் பொறுத்ததல்ல என்றும், அதே வகையாக உள்ள எல்லா அணுக்களுக்கும் ஒரே வாய்ப்பு உள்ளது என்றும் அவர் கருதினார். ஆகவே, அணு சிதைவுறும் வாய்ப்பு கால இடைவெளியின் நீளத்தைத்தான் பொறுத்துள்ளது. குறைந்த கால இடைவெளிகளுக்கு அது Δt-க்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.

ஆகவே, $p = \lambda \Delta t$

இங்கு λ என்பது குறிப்பிட்ட கதிரியக்கப் பொருளின் சிறப்பியல்பு கொண்ட சிதைவு மாறிலியாகும். குறுகிய கால இடைவெளியான Δt-ல் கொடுக்கப்பட்ட அணு சிதைவுறாமல் இருக்கும் வாய்ப்பு $= 1 - p = 1-\lambda\Delta t$. கொடுக்கப்பட்ட அணு இந்தக்கால இடைவெளியான Δt-ல் சிதைவுறாமல் தப்பிவிட்டால், அடுத்த இரண்டாவது குறுகிய கால இடைவெளியான Δt-ல் அது சிதைவுறாமல் இருக்கும் வாய்ப்பு $1-\lambda \Delta t$ ஆகும். ஆகவே, அணு, முதல் இரண்டாவது கால இடைவெளிகளில் சிதைவுறாமல் தப்பிக்கும் வாய்ப்பு $(1-\lambda\Delta t)^2$-க்குச் சமமாகும். இதே போன்ற n குறுகிய கால இடைவெளிகளில் சிதைவுறாமல் தப்பிக்கும் வாய்ப்பு $(1-\lambda \Delta t)^n$ ஆகும். மொத்த நேரமான $n \Delta t$ என்பது t-க்குச் சமமானால், அணு சிதைவுறாமல் தப்பிக்கும்

வாய்ப்பானது $\left[1-\lambda (t/n) \right]^n$ ஆகிறது. ஓர் அணு t கால

அளவிற்குப் பிறகு சிதைவுறாமல் இருக்கும் வாய்ப்பானது, Δt மறையும்படி சிறியதாவதால் அல்லது n மிகப் பெரியதாவதால் $[1-\lambda (t/n)]^n$ என்ற கோவைக்கு உண்டாகும் வரம்பு மதிப்பு (limiting value) ஆகும். e-ன் மடி என்பதால் ஒருவகை வரையறைப்படி,

$$e^{-x} = \lim_{x \to \infty} \left(1 - \frac{x}{n} \right)^n$$

இதிலிருந்து $\lim_{n \to \infty} \left(1 - \lambda \frac{t}{n} \right)^n = e^{-\lambda t}$ என்றாகிறது.

இந்தப் புள்ளியியல் தொகுப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு விவரிக்கலாம். தொடக்கத்தில் N_0 எண்ணிக்கையுள்ள கதிரியக்க அணுக்களில், t கால அளவிற்குப் பிறகு N அணுக்கள் சிதைவுறாமல் இருந்தால், அதை

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

என்ற விதியால் குறிப்பிடலாம்.

ஆகவே, கதிரியக்கச் சிதைவு விதியானது ஒரு புள்ளித் தொகுப்பியல் விதியே ஆகும். மேலும், அது வாய்ப்பு விதிகளுக்கு உட்பட்ட பல நிகழ்ச்சிகளின் முடிவாகும். ஒரு செகண்டு நேரத்தில் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை சராசரியாக λN ஆகும். ஆனால், எந்த ஒரு செகண்டிலும் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை இந்த மதிப்பிலிருந்து குறைவாகவோ அதிகமாகவோ இருக்கும். வாய்ப்புக் கொள்கையின் உதவியால் அணுக்களின் எண்ணிக்கையில் உண்டாகும் மாறுதல்களைக் கணக்கிடலாம்.

கதிரியக்க வலிமை A, கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கையான N-க்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளதால் A-க்குப் பதிலாக N இதுவரை பயன்படுத்தப்பட்டது. ஒரு கதிரியக்கப் பொருளுக்கு அவை இரண்டும் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் இணைக்கப் பட்டுள்ளன.

$$A = C \lambda N \qquad -(8)$$

இங்கு C என்ற தகவு மாறிலி சில சமயங்களில் கண்டுணர்தல் எண் (detection coefficient) எனப்படும். இது பயன்படுத்தப் படும் கண்டுணர் கருவியின் தன்மையையும் திறமையையும் பொறுத்தது. இதன் மதிப்பு ஒவ்வொரு கதிரியக்கப் பொருளுக்கும் மாறுபடலாம். ஒரு கதிரியக்கப் பொருளில் நாம் காணவேண்டிய அளவானது இரு வெவ்வேறு கால அளவுகளில் சிதைவுறாமல் இருக்கும் அணு எண்ணிக்கைகளின் விகிதமாகும். ஆனால், சமன்பாடு (8)லிருந்து

$$\frac{N(t_1)}{N(t_2)} = \frac{A(t_1)}{A(t_2)}$$

என்றாகிறது. இதில் கண்டுணர்தல் எண் நீக்கப்பட்டுவிடுகிறது. ஆகவே N-ஐயும் A-ஐயும் மாற்றிப் பயன்படுத்துவதால் தவறுகள் நிகழ்வதில்லை. இரு வெவ்வேறு கதிரியக்கப் பொருள்களை எடுத்துக்கொண்டால், அளக்கப்படும் கதிரியக்க வலிமைகள்

$A_1 = C_1 \lambda_1 N_1$ என்றும்

$A_2 = C_2 \lambda_2 N_2$ என்றும் முறையே ஆகிறது.

இரண்டு கதிரியக்கப் பொருள்களிலும் ஓரலகு நேரத்தில் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை சமமானால்,

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

ஆனால், அளவிடப்படும் கதிரியக்க வலிமை ஒன்றாக இராது. இரண்டிற்கும் கண்டுணர்தல் எண் சமமானால்தான் இரண்டிற்கும் கதிரியக்க வலிமை சமமாகும். பொதுவாகக் கண்டுணர்தல் எண் 1 என்றுஎடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. (அதாவது, ஒவ்வொரு சிதைவும் கண்டுணரப்படுவதாகக் கொள்ளப்படுகிறது.) அப்போது கதிரியக்க வலிமை ஓரலகு நேரத்தில் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும்.

சிதைவு மாறிலி

ஒரு கதிரியக்க நியூக்ளைடை அதன் தனிச் சிறப்புகளால் விளக்க அதன் சிதைவு வீதம், அதன் சிதைவு மாறிலி, அரை வாழ்வுக் காலம் (half-life period), சராசரி வாழ்வுக் காலம் (mean - life) ஆகிய மூன்றில் ஏதாவதொன்று போதுமானது. பரிசோதனை மூலம் ஒரு கதிரியக்கப் பொருளின் சிதைவு மாறிலி λ காணப்படுகிறது. சமன்பாடு (4)-ன் படி,

$$\ln \frac{N(t)}{N_0} = -\lambda t \qquad \text{—(9)}$$

இதில் ln என்பது எண்ணின் இயற்கை லாகரிதத்தைக் (natural logarithm) குறிக்கிறது. இதைச் சாதாரண லாகரிதமாக,

$$\log \frac{N(t)}{N_0} = -0{\cdot}4343\ \lambda t \qquad \text{—(10)}$$

எனக் குறிக்கலாம். ஏனெனில், ஓர் எண்ணின் e-ன் அடிப்படையில் அமைந்த லாகரிதம், 10-ன் அடிப்படையில் அமைந்த அதன் லாகரிதத்தைப் போல் 2·3026 மடங்காகும். கதிரியக்கப் பொருளில் சிதைவுறு அணுக்களின் எண்ணிக்கையான N(t), அதன் கதிரியக்க வலிமையான A(t)-க்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளதால்,

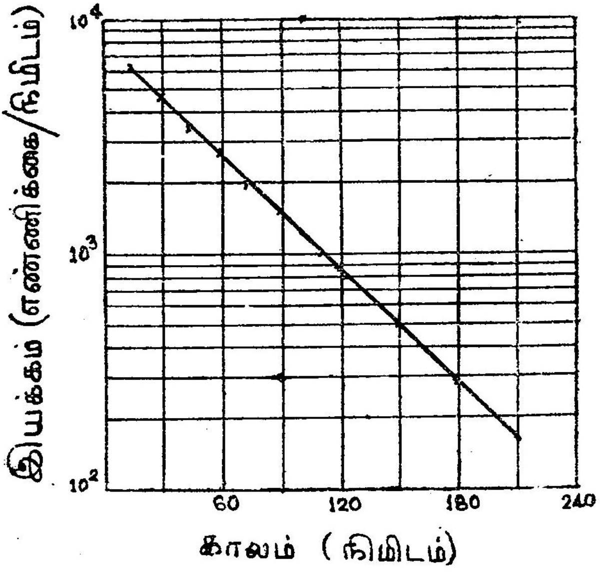
$$\frac{N(t)}{N_0} = \frac{A(t)}{A_0}$$

இதிலிருந்து சமன்பாடு (10)-ஐ.

$$\log A(t) = \log A_0 - 0{\cdot}4343\ \lambda t \qquad \text{—(11)}$$

என்று எழுதலாம். ஆகவே, அளவிடப்பட்ட கதிரியக்க

வலிமைக்கும், காலத்திற்கும் வரைபடம் வரைந்தால்,—0·4343λ வாட்டம் கொண்ட (slope) ஒரு நேர்கோடு அமைகிறது. λ கண்டுபிடிக்கும் முறை படம் 4–3-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது. வசதிக்காக வரைபடம், அரை-மடக்கைக் காகிதத்தில் (semi-log paper) வரையப்பட்டுள்ளது. படத்தில் விளக்கப்பட்டுள்ள உதாரணத்தில் நேர் கோட்டின் வாட்டம்—0·00808; கால அளவு நிமிடத்தில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆகவே λ-ன் மதிப்பு 0·0186/நிமிடம் அல்லது 3·1 × 10^{-4}/செகண்டு.



படம் 4—3.

சிதைவு மாறிலியின் மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்க உதவும் வரைபட முறை.

அரை வாழ்வுக் காலம்

கதிரியக்க அணுவை விளக்கும் அதன் மற்றொரு சிறப்பியல்பு அதன் அரை வாழ்வுக் காலம் ஆகும். இது T என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. இது, அந்தக் கதிரியக்கப் பொருளில் உள்ள அணுக்களில் பாதி சிதைவுறத் தேவைப்படும் கால அளவாகும். ஓர் அரை வாழ்வுக் காலத்திற்குப் பிறகு

$$\frac{N(T)}{N_0} = 0·5.$$

ஆகவே, சமன்பாடு (11)-லிருந்து,

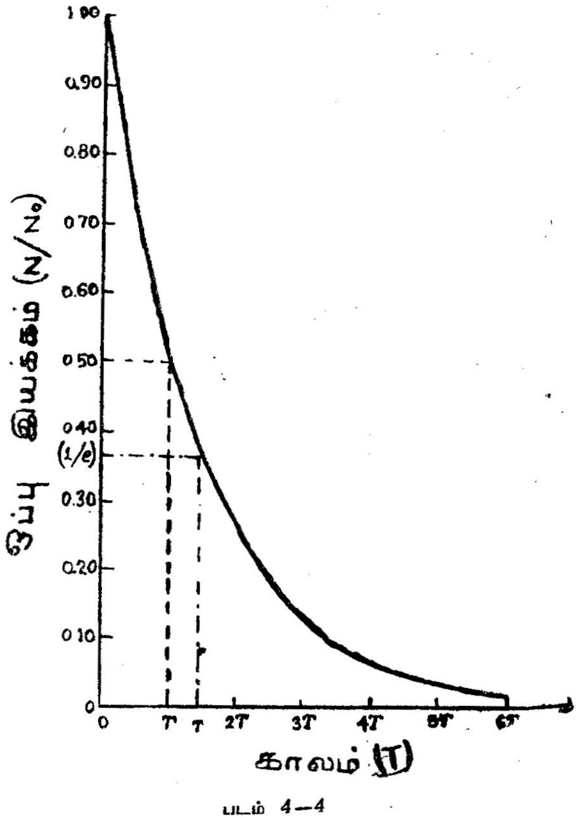
$$\log 0{\cdot}5 = -0{\cdot}4342\ \lambda T$$

அல்லது $\log 2 = 0{\cdot}4343\ \lambda T$

ஆனால், $\log 2 = 0{\cdot}3010.$

ஆகவே, அரை வாழ்வுக் காலம் $T = \dfrac{0{\cdot}693}{\lambda}$ —(12)

கதிரியக்க வலிமைக்கும் அரைவாழ்வுக் காலத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு படம் 4-4-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது. n அரை வாழ்வுக்



படம் 4—4

கதிரியக்கச் சிதைவு. அரைவாழ்வுக் காலம்.

காலங்களுக்குப் பிறகு (அதாவது $t = nT$) கதிரியக்கப் பொருளில் சிதைவுறாமல் தங்கியிருக்கும் கதிரியக்க வலிமை $(\frac{1}{2})^n$

ஆகும். இந்த அளவு எப்போதும் சுழி (zero) ஆவதில்லை. ஆனால், மிகச்சிறிய அளவாகிவிடுகிறது. ஏழு அரைவாழ்வுக் காலங்களுக்குப் பிறகு கதிரியக்க வலிமை தொடக்கத்தில் உள்ளதில் 1/128 அல்ல ஒரு சதவீதம் ஆகிறது. பத்து அரைவாழ்வுக் காலத்திற்குப் பிறகு கதிரியக்க வலிமை 1/1024 அல்லது 0·1% ஆகக் குறைகிறது. இது தொடக்க அளவுடன் ஒப்பிடும்போது தவிர்க்கக்கூடிய அளவுக்குச் சிறியதாகும்.

சராசரி வாழ்வுக் காலம்

ஒரு கதிரியக்கப் பொருளிலுள்ள அணுக்களின் சராசரி வாழ்வுக் காலம் அல்லது எதிர்பார்க்கும் சராசரி வாழ்வுக் காலம் (average life expectancy) கீழ்க்காணும் முறையில் கணக்கிடப் படுகிறது. இந்தச் சராசரி வாழ்வுக் காலம் என்பது எல்லா அணுக்களின் உயிர்க் காலங்களையும் கூட்டி அதைப் பொருளின் தொடக்கத்திலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையால் வகுப்பதால் கிடைப்பதாகும். இது τ (Tau) என்ற எழுத்தால் குறிப்பிடப்படுகிறது. கணக்கீட்டு முறையில் கீழ்க்கண்டவாறு அது பெறப்படுகிறது.

கால அளவுகள் t, t+dt-க்கு இடையில் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை $dN = \lambda N\, dt$.

ஆனால், t காலத்தில் சிதைவுறாமல் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை $N = N_0 e^{-\lambda t}$

ஆகவே, $dN = \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt.$

கதிரியக்கச் சிதைவு என்பது ஒரு புள்ளித் தொகுப்பியல் வினையாதலால், எந்த ஒரு தனித்த அணுவின் வாழ்வுக்காலமும் 0-லிருந்து ∞ ஆக இருக்கலாம். ஆகவே, சராசரி வாழ்வுக்காலம்

$$\tau = \frac{1}{N_0}\int_0^\infty N_0 \lambda t\, e^{-\lambda t} dt.$$

$$= \lambda \int_0^\infty t\, e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

$$\therefore \quad \tau = \frac{1}{\lambda} \qquad -(13)$$

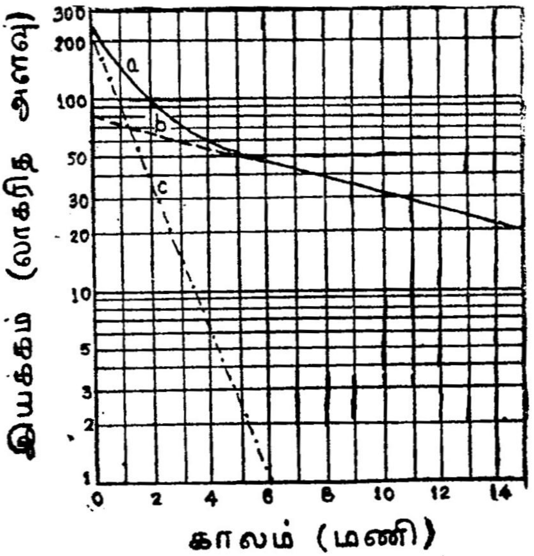
அதாவது, சராசரி வாழ்வுக் காலம் சிதைவு மாறிலியின் தலைகீழ் அளவு (reciprocal). சமன்பாடு (12), (13) ஆகியவற்றிலிருந்து அரைவாழ்வுக் காலமும், சராசரி வாழ்வுக் காலமும் நேர் விகிதத்தில் உள்ளன எனத் தெரிகிறது. அதாவது,

$$T = 0{\cdot}693\ \tau. \qquad —(14)$$

ஒரு தனித்த கதிரியக்க இனத்தின் (Species) அரைவாழ்வுக் கால அளவு சில செகண்டுகளிலிருந்து பல ஆண்டுகளாக இருக்குமானல், அதைக் கணக்கிடப் பரிசோதனைப்படி பொருளின் கதிரியக்க வலிமையை அளவிட்டு அதைக் காலத்தின் சார்பாகக் கொண்டு, சிதைவு மாறிலியைக் கணக்கிட்டதைப் போலக் கணக்கிட வேண்டும். ஓர் அரை மடக்கை வரைபடக் காகிதத்தில் கதிரியக்க வலிமையையும் கால அளவையும் குறித்தால், ஒரு நேர் கோடு கிடைக்கிறது. இதிலிருந்து அரை வாழ்வுக் காலம் நேரடியாகப் பெறப்படுகிறது.

பல சமயங்களில் இரண்டு அல்லது அதற்கும் அதிகமான கதிரியக்க இனங்களின் கலவைகளே கிடைக்கின்றன. அப்போது காணப்படும் கதிரியக்க வலிமை, இனங்களின் தனித்தனி கதிரியக்க வலிமைகளின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாகும். கதிரியக்க வலிமைகள் தனித்தியங்குபவைகளாக (independant) இருந்தால், அதாவது, ஒன்றன் கதிரியக்கம் இன்னொன்றின் கதிரியக்கத்தை உண்டாக்காததாயிருந்தால், வெவ்வேறு கதிரியக்கங்களைத் தனித்துணர முடியும்; அவற்றின் வெவ்வேறு அரைவாழ்வுக் காலங்களையும் காண முடியும். ஓர் அரை மடக்கை வரைபடக் காகிதத்தில் மொத்தக் கதிரியக்க வலிமையையும் கால அளவையும் குறித்தால் படம் 4-5-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற ஒரு தடித்த கோடு கிடைக்கின்றது. வளைகோட்டின் மேற்பகுதி குழிவாக (Concave) உள்ளது. ஏனெனில், குறைந்த வாழ்வுக்காலம் கொண்ட இனங்கள் விரைவாகச் சிதைவுறுகின்றன. இதனல் நீண்ட காலத்திற்குப் பிறகு அதிக வாழ்வுக்காலம் கொண்ட கதிரியக்க இனம் மட்டும் பின்தங்குகின்றன. ஆகவே, அதன் அரைவாழ்வுக்காலம், சிதைவு வளைகோட்டின் பிற்பகுதியான நேர்கோட்டுப் பகுதியிலிருந்து பெறப்படுகிறது. இந்த நேர்கோட்டுப் பகுதியைப் பின்புறம் $t = 0$ வரை நீட்டி, இந்த நேர்கோடு கொடுக்கும் கதிரியக்க வலிமை அளவை, மொத்தக் கதிரியக்க வலிமையிலிருந்து கழித்தால், மீதமுள்ள வளைகோடு, கலவையில் அதிக வாழ்வுக் காலம் பெற்றதைத் தவிர்த்த மற்ற இனங்களின் கதிரியக்கச் சிதைவைக் குறிக்கும். படம் 4-5-ல் கொடுக்கப்

பட்டுள்ள உதாரணக் கலவையில் இரண்டு இனங்களில் ஒன்றன் அரைவாழ்வுக் காலம் 0·8 மணி; மற்றதன் அரைவாழ்வுக் காலம் 8 மணி ஆகும். மொத்தக் கதிரியக்க வலிமையைக் குறிக்கும் வளை கோடு தனித்தனி கதிரியக்க வலிமையைக் குறிக்கும் இரு நேர் கோடுகளின் கூட்டுத் தொகையாகும். கொள்கைவாரியாக ஒரு



படம் 4—5

கூட்டுச் சிதைவு வளைகோட்டின் பகுப்பாய்வு

(a) கூட்டு வளைகோடு; (b) நீண்ட வாழ்வுக் காலக் ($T_{\frac{1}{2}} = 8$ மணி) கூறு;
(c) குறைந்த வாழ்வுக் காலக் ($T_{\frac{1}{2}} = 0{\cdot}8$ மணி) கூறு.

கூட்டுச்சிதைவு வளைகோட்டை அதன் கூறுகளாகப் பிரிக்கக் கூடியதாக இருந்தாலும், நடைமுறையில் சுமார் இரண்டிற்குக் குறைவாக அரை வாழ்வுக் கால வேறுபாடு கொண்ட இரண்டு அல்லது மூன்று கூறுகளைக்கூடத் தனித்தனியாகப் பிரிப்பது கடினமாக உள்ளது.

ஒரு கதிரியக்கப் பொருளின் அரைவாழ்வுக் காலம் மிக அதிகமாகவோ அல்லது குறைவாகவோ இருந்தால், இதுவரை விவரிக்கப்பட்ட முறைகளினின்றும் வேறுபட்ட முறைகளே கையாளப்பட வேண்டும். அரைவாழ்வுக் காலம் அதிகமானதாக இருந்தால்

அதாவது, λ சிறியதாக இருந்தால், அளவீடு முடிவடையும் நேரத்திற்குள்ளாகவே சிதைவு முடிவுற்றுவிடுமாதலால் கதிரியக்கத்தில் உண்டாகும் மாறுதல்களைக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. பரிசோதனையில் அளவிடும் கதிரியக்க வலிமையான **A** என்பது $C\lambda N$-க்குச் சமம். (இங்கு C என்பது அளவீட்டுக் கருவியால் கண்டுணரப்படும் சிதைவுறும் அணுக்களின் பகுதியைக் குறிக்கிறது.) **C** தெரிந்த பிறகு,

$$\lambda N = -\frac{dN}{dt} = \frac{A}{C}$$

என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி λ-வைக் கண்டுபிடிக்கலாம். மேலும், கலவையிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருளிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை N-ம் தெரிந்திருக்கவேண்டும். இந்த முறை, நீண்ட வாழ்வுக்காலம் கொண்ட α கதிர்களை வெளிவிடும், 10^{10} ஆண்டுகள் அரைவாழ்வுக்காலம் கொண்ட பொருள்களுக்கு மிக வெற்றிகரமாகப் பயன்படுத்தப்பட்டன. அரைவாழ்வுக் காலம் குறைவாக உள்ள பொருள்களுக்கு வேறு முறைகள் கையாளப்படவேண்டும். இம்முறைகளில் 10^{-9} செகண்டு அரை வாழ்வுக் காலங்கூடக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

அடுத்தடுத்த கதிரியக்க உருமாற்றங்கள் :

இயற்கையாக உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்கள் மூன்று வரிசையாக (series) உள்ளன என்று பரிசோதனைப்படி கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஒவ்வொரு வரிசையிலும் தாய் நியூக்ளைடு (parent nuclide) சிதைவுற்று அடுத்த சேய்-நியூக்ளைடு (daughter nuclide) உண்டாகிறது. திரும்பவும் அது சிதைவுற்று, உண்டாகும் விளைபொருள்கள் அடுத்தடுத்துச் சிதைவுற்று, முடிவில் சிதைவுறாத நிலையிலான ஒரு விளைபொருள் உண்டாகிறது. கதிரியக்க வரிசையை ஆராய்வதற்கு, வரிசையில் உள்ள ஒவ்வொரு விளைபொருளிலும் காலத்தின் சார்பாக உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை தெரிய வேண்டும். இந்த எண்ணிக்கைகளைக் கண்டுபிடிக்க ஒரு வகைக் கெழுச் சமன்பாடுகளின் அமைப்பை (system of differential equation) விடுவிக்க வேண்டும். இப்படிப்பட்ட பகு சமன்பாட்டை விடுவிக்கும் (solve) முறையைத் தெளிவாக்க, சிதைவுறும் கதிரியக்கத்தாயை 1 என்ற பிற்குறிப்பாலும், அதிலிருந்து உண்டாகும் அடுத்த கதிரியக்கப் பொருளை 2 என்ற பிற்குறிப்பாலும், அது மறுபடியும் சிதைவடைந்து உண்டாகும் கதிரியக்கமற்ற முடிவான விளைபொருளை 3 என்ற பிற்குறிப்பா

லும் குறிப்பிடலாம். ஆகவே, t என்ற ஏதாவது ஒரு காலத்தில் மூன்று வகைப் பொருள்களில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை முறையே N_1, N_2, N_3 என்றும் அவற்றின் சிதைவு மாறிலிகள் λ_1, λ_2, λ_3 என்றும் அமைந்திருக்கும். இப்போது இந்த அமைப்பைக் கீழ்க்காணும் மூன்று சமன்பாடுகள் குறிக்கும் :

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \qquad \text{— (15a)}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 \qquad \text{— (15b)}$$

$$\frac{dN_3}{dt} = -\lambda_3 N_3 \qquad \text{— (15c)}$$

இந்தச் சமன்பாடுகள் கீழ்க்காணும் உண்மைகளைக் குறிக்கின்றன. தாய்க் கதிரியக்கப் பொருள், சிதைவு அடிப்படை விதியான (5)-ன்படி சிதைவுறுகிறது. தாய்ப்பொருளிலிருந்து உண்டாகும் இரண்டாவது கதிரியக்கப் பொருளின் அணுக்கள், தாய் அணுக்கள் சிதைவுறுவதால் $\lambda_1 N_1$ என்ற வீதத்தில் உருவாகின்றன. அவை $\lambda_2 N_2$ என்ற வீதத்தில் மறைகின்றன ; இரண்டாவது கதிரியக்கப் பொருளின் சிதைவினால் கதிரியக்கமற்ற நிலையான விளைபொருளின் அணுக்கள் $\lambda_2 N_2$ என்ற வீதத்தில் உண்டாகின்றன.

வகைக்கெழு சமன்பாடுகளை விடுவித்தல் அடிக்கடி தேவைப் படுவதால், அவற்றை விடுவிக்கும் முறை கீழே தரப்பட்டுள்ளது.

$$N_1(t) = N_1^o e^{-\lambda_1 t} \qquad \text{—(16)}$$

இங்கு N_1^o என்பது தாய்க் கதிரியக்கப் பொருளில் கால அளவு $t = o$ என்றிருக்கும்போது உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை. N_1-க்கான இந்தக் கோவையைச் சமன்பாடு (15b)-ல் பதிவீடு செய்தால்,

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1^o e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2$$

அல்லது $$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1^o e^{-\lambda_1 t} \qquad \text{—(17)}$$

சமன்பாடு (17) முழுவதையும் $e^{\lambda_2 t}$-ஆல் பெருக்க

$$e^{\lambda_2 t}\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 e^{\lambda_2 t} = \lambda_1 N_1^\circ e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$$

அல்லது $$\frac{d}{dt}\left(N_2 e^{\lambda_2 t}\right) = \lambda_1 N_1^\circ e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$$

கடைசிச் சமன்பாட்டுக்குத் தொகுதி காணில்

$$N_2 e^{\lambda_2 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^\circ e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + c.$$

இங்கு C என்பது ஒரு தொகுதி மாறிலி. இது முழுவதையும் $e^{-\lambda_2 t}$-ஆல் பெருக்க,

$$N_2 (t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N^\circ_1 e^{-\lambda_1 t} + C e^{-\lambda_2 t} \qquad \text{—(18)}$$

தொகுதி மாறிலி C-ன் மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்க, $t = 0$ என்று வைத்துக்கொண்டால், இரண்டாவது கதிரியக்க விளைபொருளின் அணுக்களின் எண்ணிக்கை, மாறிலியாக இருக்கும்.

அல்லது $N_2 = N_2^\circ$

அப்போது $C = N_2^\circ - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^\circ$

இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு (18)-ல் பதிவீடு செய்து எண்களை மாற்றி அமைத்தால், N_2-க்குக் கால அளவின் சார்பாக ஒரு விடை கிடைக்கிறது.

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^\circ \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right) + N_2^\circ e^{-\lambda_2 t} \qquad \text{—(19)}$$

மூன்றுவது விளைபொருளிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கண்டுபிடிக்கச் சமன்பாடு (15c)-ல், சமன்பாடு (19)-ல் உள்ள N_2-வின் மதிப்பைப் பதிவீடு செய்து தொகுதி கண்டால்

$$N_3 = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^\circ - N_2^\circ\right) e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^\circ e^{-\lambda_1 t} + D \qquad —(20)$$

இங்கு D என்பது தொகுதி மாறிலி. இதன் மதிப்பைக் காண $t = 0$ என்றும், $N_3 = N_3^\circ$ என்றும் கொண்டால்,

$$D = N_3^\circ + N_2^\circ + N_1^\circ$$

இந்தக் கோவையின் மதிப்பைச் சமன்பாடு (20)-ல் பதிவிட்டால்

$$N_3 = N_3^\circ + N_2^\circ\left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) + N_1^\circ\left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t}\right) \qquad —(21)$$

சமன்பாடுகள் (16), (19), (21) ஆகியவை நமக்குத் தேவையான விடைகளைத் தருகின்றன.

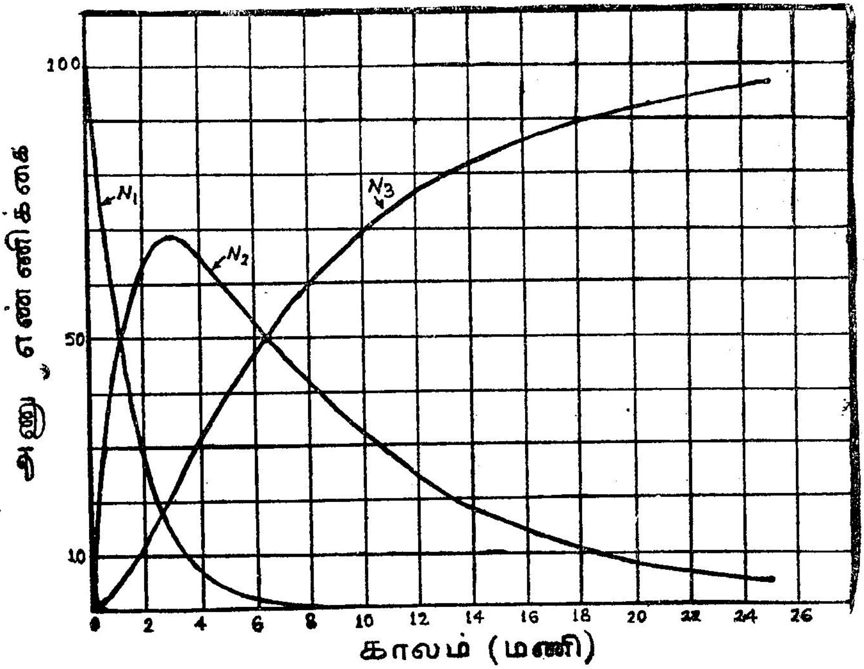
நடைமுறையில் மாறிலிகள் N_2°, N_3° இரண்டும் O ஆகின்றன. ஆகவே, N_2, N_3 ஆகியவற்றின் விடைகள்

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^\circ \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \qquad —(22)$$

$$N_3 = N_1^\circ \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t}\right) \qquad —(23)$$

என்று சுருக்கமடைகின்றன. படம் 4·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள வளைகோடுகள், மேலே கொடுக்கப்பட்ட உதாரணத்தில், கதிரியக்கத் தாய்ப்பொருளின் அரைவாழ்வுக் காலமான $T_1 = 1$ மணி நேரம், இரண்டாவது கதிரியக்க விளைபொருளின் அரை வாழ்வுக் காலமான $T_2 = 5$ மணி நேரம் என்றிருக்கும்போது ஏற்படும் நிலைமையைக் காட்டுகிறது. T-ன் இந்த மதிப்புகளுக்கு ஒத்த சிதைவு மாறிலிகளின் மதிப்புகள் முறையே $\lambda_1 = 0{\cdot}693$ / மணி ; $\lambda_2 = 0{\cdot}1386$ / மணி. வளைகோடுகளின் நிலை ஆயங்கள் (ordinates) கதிரியக்கப் பொருள்கள் 1, 2, 3 ஆகியவற்றின் ஒப்பு எண்களை (relative number) பொருள் 1-ன் தொடக்க

அணு எண்ணிக்கையான $N_1^\circ = 100$ என்ற அடிப்படையில் காலத்தின் சார்பாகக் குறிக்கின்றன. பொருள் 1-ன் அணு எண்ணிக்கையான N_1 சமன்பாடு (16)-ன் படி 1 மணி நேர அரை வாழ்வுடன் e-ன் மடியாகக் குறைகின்றது. தொடக்கத்தில் N_2-ன் மதிப்பு 0; பிறகு அதிகரித்துச் சுமார் 3 மணி நேரத்திற்குப் பிறகு ஒரு பெரும அளவை அடைந்து மறுபடியும்



படம் 4—6

கதிரியக்கத் தாய்ப்பொருளும் அதன் இரு விளைபொருள்களும். தாய்ப்பொருளின் அரைவாழ்வுக் காலம் ஒரு மணி. இரண்டாவது சேய்ப்பொருளின் அரைவாழ்வுக் காலம் 5 மணி. மூன்றாவது விளைபொருள், கதிரியக்கமற்ற நிலையான பொருள்.

மெதுவாகக் குறைகிறது. இறுதி விளைபொருளான கதிரியக்க மற்ற பொருளின் அணு எண்ணிக்கை N_3, நேரத்துடன் முதலில் மிகக்குறைவான வீதத்திலும் பிறகு சீராகவும் அதிகரித்து t-ன் மதிப்பு மிக அதிகமாக உள்ளபோது N_3-ன் மதிப்பு 100-ஐ நெருங்குகிறது. ஏனெனில், முடிவில் பொருள் 1-ன் எல்லா அணுக்களும் கதிரியக்கமற்ற நிலையான பொருள் 3-ன் அணுக்களாக மாற்றப்பட்டுவிடுகின்றன.

மேலே விவரிக்கப்பட்ட விளக்கம் எல்லா விதமான கதிரியக்க விளைபொருள்களின் தொடருக்கும் பொருந்தும். இந்தப் புதிரின் விடை அடிக்கடி மிகவும் பயன்படுகிறது புதிரின் விடையைக் காணும் முறை முன்னர்ப் பார்த்த முறையைப் போன்றதே. தொடரின் நீளம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க உண்டாகும் கணித முறைக் கணக்கீடும், கோவைகளும் கையாளக் கடினமாகின்றன. இப்படிப்பட்ட தொடரின் பொதுவான வகைக்கெழு சமன்பாடுகளாவன :—

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \qquad \text{—(24)}$$

....

....

$$\frac{dN_n}{dt} = \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n$$

இந்தச் சமன்பாட்டு அமைப்பின் விடையை, $t = 0$ என்றிருக்கும்போது கதிரியக்கத் தாய்ப்பொருள் மட்டுந்தான் உள்ளது என்ற தற்கோளுடன் பேட்மன் (Bateman) கண்டுபிடித்தார். அவரது தொடக்க நிபந்தனைகளாவன :

$t = 0$ என்றிருக்கும்போது,

$$N_1 = N_1^\circ ; \quad N_2^\circ = N_3^\circ = \ldots\ldots\ldots\ldots N_n^\circ = 0 \qquad \text{—(25)}$$

இந்தத் தொடரில் n-ஆவது பொருளிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை

$$N_n(t) = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + C_3 e^{-\lambda_3 t} + \ldots\ldots + C_n e^{-\lambda_n t} \qquad \text{—(26)}$$

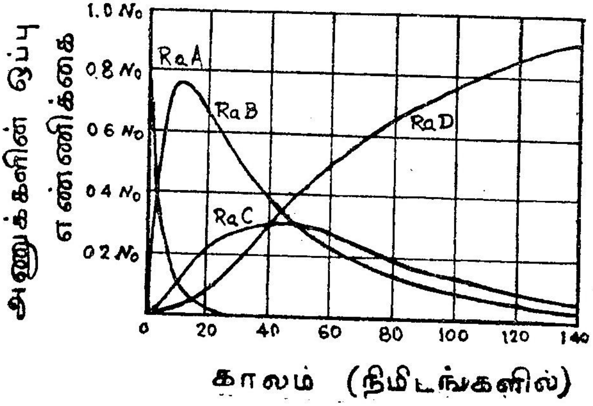
இதில் $$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \ldots\ldots\ldots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \ldots\ldots (\lambda_n - \lambda_1)} N_1^\circ$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \ldots\ldots\ldots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \ldots\ldots (\lambda_n - \lambda_2)} N_1^\circ \quad \text{—(27)}$$

....

$$C_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \ldots\ldots\ldots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \ldots\ldots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} N_1^\circ.$$

சமன்பாடுகள் (24), (25), (26), (27) ஆகியவை 'பேட்மன் சமன்பாடுகள்' (Bateman equations) எனப்படும். இந்தப் பேட்மன் சமன்பாடுகள் பயன்படும் விதத்தின் ஓர் உதாரணம்



படம் 4—7

ரேடியம் A-ன் கதிரியக்கச் சிதைவு

படம் 4·7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த வளைகோடுகள் கீழ்க்காணும் சூழ்நிலைகளில் பெறப்பட்டன. ஒரு பரிசோதனைப் பொருள் சில செகண்டுகள் நேரத்திற்கு ரேடான் (E_n^{222})-க்குத் திறந்து வைக்கப்பட்டது (exposed). அப்போது அரைவாழ்வுக் காலம் 3·05 நிமிடம் கொண்டதும், ரேடானின் சிதைவு விளைபொருளான RaA அல்லது Po^{218}-ன் சில அணுக்கள் பரிசோதனைப் பொருளின் மேல் படிகின்றன. முதலில் படிந்த RaA சிதைவடைந்து அரைவாழ்வுக் காலம் 26·8 நிமிடம் கொண்ட RaB (Pb^{214}) ஆக மாறுகிறது. முடிவாக இதுவும் சிதைவடைந்து

அரைவாழ்வுக் காலம் 22 ஆண்டுகள் கொண்ட இறுதி விளை பொருளான RaD அல்லது Pb^{210} உண்டாகிறது. இந்த இறுதி அரைவாழ்வுக் காலம் மிகவும் அதிகமானதால், சிதைவுறும் ரேடியம் D (RaD) அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கருதாமல் விட்டுவிடலாம். RaA அணுக்களின் எண்ணிக்கை அடுக்குத் தொடராகக் குறைவடைகின்றது. RaB அணுக்களின் எண்ணிக்கை தொடக்கத்தில் O-ஆக இருந்து, சுமார் 10 நிமிட நேரத்திற்குப் பிறகு ஒரு பெரும அளவை அடைந்து, பிறகு காலம் அதிகரிக்க அதிகரிக்கக் குறைவடைகிறது. RaC அணுக்களின் எண்ணிக்கை சுமார் 35 நிமிடங்களுக்குப் பிறகு பெரும அளவைப் பெற்று மறுபடியும் குறைகிறது. RaD அணுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்து, RaA-யும் RaB-யும் சிதைவடைந்து முழுவதும் மறைந்த பிறகு, ஒரு பெரும அளவை அடைகின்றது. பிறகு அரைவாழ்வுக் காலம் 22 ஆண்டுகளுடைய RaD e-ன் மடியாகச் சிதைவுறுகிறது. எந்த நேரத்திலும் பொருளில் உள்ள அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கை, தொடக்கத்தில் RaA-ல் இருந்த அணுக்களின் எண்ணிக்கையான N_0 ஆகும். இதே போன்று வெவ்வேறு தொடக்க நிலைகளிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களின் தொடர்களுக்கான விடைகளைக் காண முடியும்.

கதிரியக்கச் சம நிலை

'சம நிலை' (equilibrium) என்பது கால அளவைப் பொறுத்த ஒரு சார்பின் அடிப்படையாகப் பெறப்பட்ட எண், சுழி ஆகும் நிபந்தனையைக் குறிப்பதாகும். இந்த நிபந்தனை, சமன்பாடு (24)-ன் படி விளக்கப்படும் கதிரியக்கப் பொருள்களின் ஒரு தொடருக்குக் கொடுக்கப்படுமானால், அதன் அடிப்படையாகப் பெறப்பட்ட எண்களான dN_1/dt, dN_2/dt, ... dN_n/dt ஆகியவை யாவும் சுழியாகும். அதாவது, அந்தத் தொடரின் ஒவ்வொரு கதிரியக்கப் பொருளிலுமுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை மாறுவதில்லை. அப்போது சமநிலைக்கான நிபந்தனைகளாவன :

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 = 0.$$

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 \qquad (-28)$$

....

....

$$\lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n$$

ஆனால், முதற்பொருளான தாய்ப்பொருள் கதிரியக்கமுள்ள தாக இருந்தால் சமன்பாடு (28)-ல் முதல் சமன்பாட்டிலிருந்து $\lambda_1 = 0$ என்றாவதால் இவை ஒன்றிற்கொன்று மறுதலிக்கப் பட்டு இந்த நிபந்தனைகள் அனுசரிக்க முடியாதவையாகும். இருப் பினும் தாய்ப்பொருள் அதிலிருந்து பெறப்படும் தொடரின் விளை பொருள்களைவிட மிகமிக மெதுவாகச் சிதைவடைந்தால், அதாவது தாய்ப்பொருள் அதன் சிதைவுப் பொருள்களைவிட மிக அதிகமான அரைவாழ்வுக் காலம் பெற்றிருந்தால் கதிரியக்கச் சம நிலைக்கு மிக அருகிலுள்ள ஒரு நிலையை மட்டும் அடைய முடியும். இந்த நிபந்தனையை இயற்கையில் கிடைக்கும் கதிரியக்கத் தொடர்கள் நிறைவு செய்கின்றன. யுரேனியம் I அரை வாழ்வுக் காலம் $4{\cdot}5 \times 10^9$ ஆண்டுகள்; ஆகவே, ஓர் ஆய்வாளரின் வாழ்வுக் காலம் முழுவதிலும், சிதைவுறும் யுரேனியம் I-ன் (uI)-ன் அணுக்களின் எண்ணிக்கை தவிர்க்கக்கூடியதாகும். இம் மாதிரியான வகைகளில், தாய்ப்பொருளிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையான N, ஒரு மாறிலி என்றே எடுத்துக்கொள்ள லாம்; அப்போது சிதைவு மாறிலியின் மதிப்பான λ, தொடரி லுள்ள மற்ற விளைபொருள்களின் சிதைவு மாறிலிகளின் மதிப்பு களைவிட மிகமிகச் சிறிய அளவே குறைந்துள்ளது. அப்போது சமன்பாடு (28) லுள்ள முதல் தொடர் சரியாக அமைகிறது. மற்ற நிபந்தனைகளும் மிகச்சரியாக அனுசரிக்கப்படுகின்றன. இந்த மாதிரிச் சமநிலைக்கு 'நிலைபேறான சமநிலை' (Secular equilibrium, மெல்ல அல்லது இடைவிடாது நிகழும் சமநிலை') என்று பெயர். இந்தச் சமநிலை கீழ்க்காணும் நிபந்தனையை அனுசரிக்கின்றது.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \ldots\ldots\ldots = \lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n \quad (29)$$

இதே நிபந்தனை, அரைவாழ்வுக் காலத்தில்

$$\frac{N_1}{T_1} = \frac{N_2}{T_2} = \frac{N_3}{T_3} = \ldots\ldots\ldots = \frac{N_{n-1}}{T_{n-1}} = \frac{N_n}{T_n} \quad (30)$$

என்றாகிறது. அதிகமான அரைவாழ்வுக் காலம் கொண்ட ஒரு தாய்ப்பொருளிலிருந்து அடுத்தடுத்த சிதைவுகளால் வாழ்வுக் காலம் குறுகியதாக உள்ள பல விளைபொருள்கள் உண்டாகும் போது, அவற்றிற்குச் சமன்பாடுகள் (29), (30) ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்த முடியும். நிலைபேறான சமநிலையை உறுதிப்படுத்த சிதைவு விளைபொருள் சிறிதளவும் நீக்கப்படாமலோ அல்லது சிதைவுப் பொருள் நீண்ட நேரத்திற்கு வெளிப்பட்டுவிடாதபடி பாதுகாக்கப்பட்டோ இருக்க வேண்டும். சைக்ளட்ரான்

அல்லது தொடர்வினை அடுக்கு (Chain-reactivity pile) ஆகிய வற்றில் செயற்கை முறையில் கதிரியக்கப் பொருள் ஒரு சீரான விதத்தில் உண்டாக்கப்படும்போதும் நிலைபேறான சமனிலை உண்டாகிறது. அப்போது, நீண்ட வாழ்வுக்காலம் கொண்ட பொருள்களுக்குச் சமன்பாடு (29)-ன் நிபந்தனை நிறைவு செய் வதால் சமன்பாடு (24)-ல் உள்ள இரண்டாவது தொடரிலுள்ள $\lambda_1 N_1$ ஒரு மாறிலியாகிறது.

அரைவாழ்வுக் காலம் அதிகமாகக் கொண்ட ஒரு கதிரியக்கப் பொருளின் அரைவாழ்வுக் காலத்தைக் கண்டுபிடிக்கச் சமன்பாடு (30) பயன்படுகிறது. காட்டாக, யுரேனியம் கனிமங்களில் நிலை பேறான சமநிலை நிலவுகிறது. அவற்றிலுள்ள ஒவ்வொரு $2{\cdot}8\times10^6$ எண்ணிக்கை உள்ள யுரேனியம் I அணுக்களுக்கும் ஒரு ரேடியம் அணு உள்ளதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. கதிரியக்க விளைபொருள் தொடரில் யுரேனியம் 1-ஐ 1 என்றும், ரேடியத்தை 2 என்றும் குறிப்பிட்டால் சமநிலையின்போது

$$\frac{N_1}{N_2} = 2{\cdot}8 \times 10^6$$

நேரடிப் பரிசோதனைகளிலிருந்து ரேடியத்தின் அரைவாழ்வுக் காலம் 1620 ஆண்டுகள் எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. எனவே, யுரேனியம் I-ன் அரைவாழ்வுக் காலம்,

$$T_1 = \frac{N_1}{N_2} T_2 = 2{\cdot}8 \times 10^6 \times 1620 = 4{\cdot}5 \times 10^9 \text{ ஆண்டுகள்}$$

நிலைபேறான சமநிலையை நெருங்கும் ஓர் உதாரணத்தைப் பார்ப்போம். இதில் மிக அதிக அரைவாழ்வுக் காலம் ($T = \infty$) கொண்ட தாய்ப்பொருளையும், மிகக்குறைவான வாழ்வுக்காலம் கொண்ட அதன் விளைபொருளையும் எடுத்துக்கொள்வோம். இதில் தாய்ப்பொருளிலிருந்து அதன் விளைபொருள் பிரிக்கப் பட்டு, தொடக்கத்தில் விளைபொருள் தூய்மையாக உள்ளதாகவும் கருதுவோம். எந்த நேரத்திலும் தாய்ப்பொருளிலோ அல்லது அதன் விளைபொருளிலோ உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக் கையைச் சமன்பாடு (16), (22) ஆகியவற்றிலிருந்து கண்டு பிடிக்கலாம். நமது தற்கோள்களின்படி,

$$\lambda_1 \approx O; \quad \lambda_1 \ll \lambda_2.$$

ஆகவே, $e^{-\lambda_1 t} = 1$

ஆகவே, $N_1 \approx N_1^\circ$ —(31)

$$N_2 \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^\circ \left(1-e^{-\lambda_2 t}\right) \quad —(32)$$

சமன்பாடு (32) ஐ மாற்றியமைத்தால்

$$\lambda_2 N_2 \approx \lambda_1 N_1^\circ \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) \quad —(33)$$

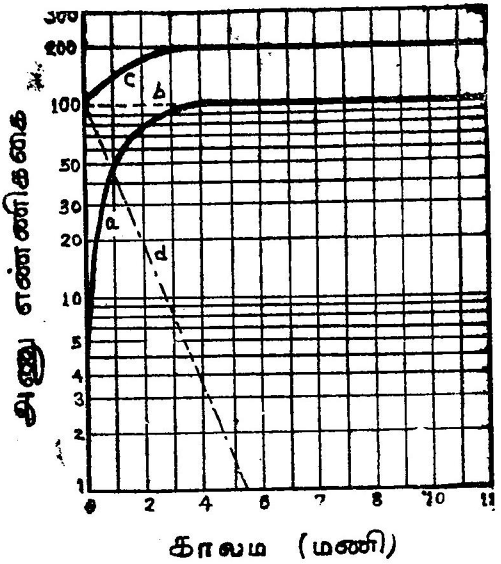
சமன்பாடு (33), விளைபொருளின் கதிரியக்க வலிமையைத் தாய்ப் பொருளின் நிலையான கதிரியக்க வலிமையின் அளவில் காலத்தைப் பொறுத்த ஒரு சார்பாகக் கொடுக்கிறது. மொத்தக், கதிரியக்க வலிமை

$$A_{\text{மொத்தம்}} = \lambda_1 N_1^\circ + \lambda_2 N_2 \approx 2\lambda_1 N_1^\circ - \lambda_1 N_1^\circ e^{-\lambda_2 t} \quad —(34)$$

சமன்பாடு (33)-லிருந்து t-ன் அளவு அதிகரிக்கும்போது இரண்டாவது விளைபொருளின் கதிரியக்க வலிமை அதிகரிப்பதும், பல அரைவாழ்வுக் கால நேரத்திற்குப் பிறகு $\lambda_2 N_2$ வின் மதிப்பு $\lambda_1 N_1^\circ$-வின் மதிப்பை நெருங்குவதும் புலப்படுகிறது. இதனால் நிலைபேறான சமநிலைக்கான நிபந்தனைகளும் நிறைவு செய்யப்படுகின்றன. இந்தத் தொடர்புகள் படம் 4-8-ல் காட்டப் பட்டுள்ளன. படத்தில் a என்ற வளைகோடு விளைபொருளின் கதிரியக்க வலிமையையும், b தாய்ப்பொருளின் கதிரியக்க வலிமையையும், c என்ற வளைகோடு மொத்தக் கதிரியக்க வலிமையையும் குறிப்பிடுகின்றன. d என்ற வளைகோடு, பிரித்து வைக்கப்பட்ட விளைபொருள் சிதைவுறும் விதத்தை ஒப்பிட்டுப் பார்ப்பதற்காகக் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

இதற்கு வேறுபட்ட வகையில், தாய்ப்பொருளின் வாழ்வுக் காலம், அதன் அடுத்த விளைபொருளின் வாழ்வுக் காலத்தைவிட அதிகமாக இருந்து ($\lambda_1 > \lambda_2$), ஆனால், தாய்ப்பொருளின் அரை வாழ்வுக் காலம் அவ்வளவு நீளமானதாக இல்லாமலிருந்தால், உண்டாகும் சமநிலைக்கு 'நிலையற்ற சமநிலை' (transient equilibrium) என்று பெயர். இதில் $\lambda_1 = 0$ என்ற தோராய மதிப்பு தேவையில்லை. தாய்ப்பொருளும் அதன் விளைபொருளும் பிரித்து வைக்கப்பட்டு அதனால் தாய்ப்பொருள் தொடக்கத்தில் தூய்மை

யாக உள்ளதாக எடுத்துக்கொண்டால், சமன்பாடு (16), (22) ஆகியவற்றின் உதவியால் அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம். கால அளவு t தேவையான அளவுக்குப் பெரிய



படம் 4—8

நிலைபெருன சமநிலை.

(a) புதிதாகத் தூய்மையாக்கப்பட்ட தாய்ப்பொருளில் இரண்டாவது விளைபொருளின் கதி யக்க வலிமை அதிகரித்தல்; (b) தாய்ப்பொருளின் ($T_{\frac{1}{2}} = \infty$) கதிரியக்கம்; (c) தொடக்கத்தில் தூய்மையான தாய்ப்பொருளின் பகுதியின் மொத்தக் கதிரியக்கம்; (d) புதிதாகப் பிரித்து வைக்கப்பட்ட இரண்டாவது விளைபொருளின் ($T_{\frac{1}{2}} = 0{\cdot}8$ மணி)கதிரியக்கச் சிதைவு.

தானல் $e^{-\lambda_1 t}$ யின் மதிப்புடன் ஒப்பிடும்போது $e^{-\lambda_2 t}$ -யின் மதிப்பு மிகச்சிறியதாகிறது. ஆகவே, விளைபொருளின் அணுக்களின் எண்ணிக்கை

$$N_2 \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^{\circ} e^{-\lambda_1 t} \qquad \text{—(35)}$$

ஆகவே, தாய்ப்பொருளைப் போன்றே விளைபொருளும் அதே அரைவாழ்வுக் காலத்துடன் சிதைவுறுகிறது.

$$N_1^{\circ} e^{-\lambda_1 t} = N_1$$

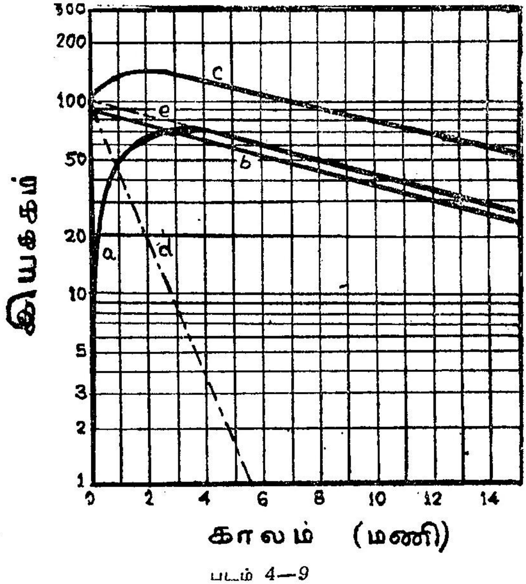
எனவே, $$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} \qquad —(36)$$

நிலையற்ற சமநிலையில் அளவிடப்பட்ட கதிரியக்க வலிமைகளின் விகிதம் :

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\lambda_1 N_1}{\lambda_2 N_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} \qquad —(37)$$

விளைபொருளின் கதிரியக்க வலிமை தாய்ப்பொருளின் கதிரியக்க வலிமையைப் போல $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ மடங்கு அதிகமாக உள்ளது.

படம் 4-9-ல் தாய்ப்பொருளுக்கும் அதன் விளைபொருளுக்கும் இடையிலுள்ள நிலையற்ற சமநிலையின் சிறப்புப் பண்புகளைப்



படம் 4—9

நிலையற்ற சமநிலை.

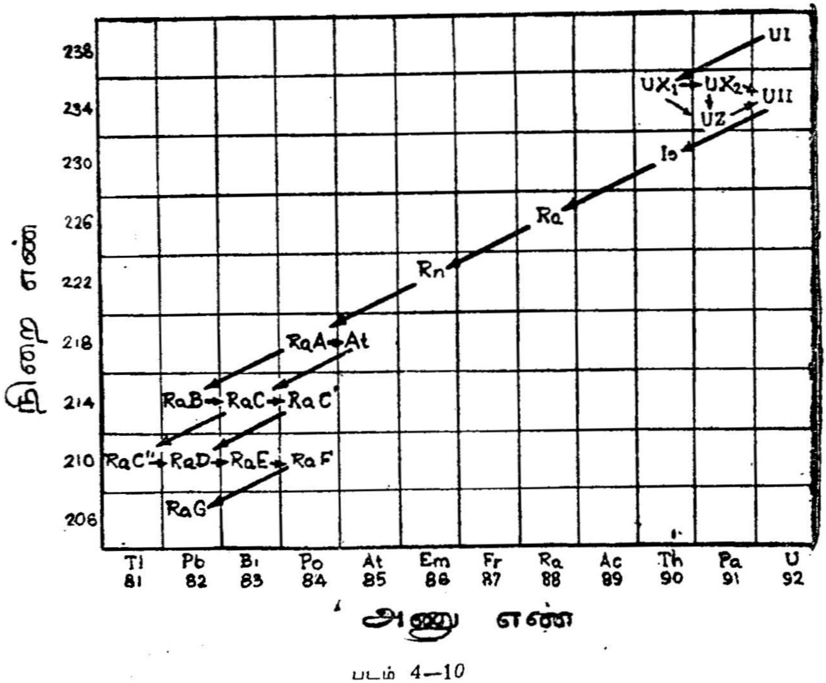
(a) புதிதாகத் தூய்மையாக்கப்பட்ட தாய்ப்பொருளின் பகுதியில் உண்டாகும் இரண்டாவது விளைபொருளின் கதிரியக்கம்; (b) தாய்ப்பொருளின் கதிரியக்கம் $T_{\frac{1}{2}} = 8$ மணி; (c) தொடக்கத்தில் தூய்மையான தாய்ப்பொருளின் மொத்தக் கதிரியக்கம்; (d) இரண்டாவது விளைபொருளின் சிதைவு; (e) சேய்ப்பொருளின் மொத்தக் கதிரியக்கம்.

பற்றிய மேற்கூறிய முடிவுகள் வரைகோடுகள் மூலம் காட்டப் பட்டுள்ளன.

கதிரியக்கத் தாய்ப்பொருளின் அரைவாழ்வுக் காலம், அதன் விளைபொருளின் அரைவாழ்வுக் காலத்தைவிட அதிகமாயிருந்தால் ($\lambda_1 > \lambda_2$) எந்த விதச் சமநிலையும் உண்டாவதில்லை. தொடக்கத்தில் தாய்ப்பொருளும் அதன் விளைபொருளும் பிரித்து வைக்கப்பட்டிருந்தால், தாய்ப்பொருள் சிதைவடைய, அடைய, விளைபொருளின் அணுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்து ஒரு பெரும அளவை அடைந்து, முடிவாக விளைபொருளின் அரைவாழ்வுக் காலத்துடன் சிதைவடைகிறது.

இயற்கைக் கதிரியக்க வரிசைகள்

இயற்கையில் உள்ள கதிரியக்கத் தனிமங்களைப் பற்றிய இயற்பியல், வேதியியல் ஆராய்ச்சிகளின் பயனாக ஒவ்வொரு

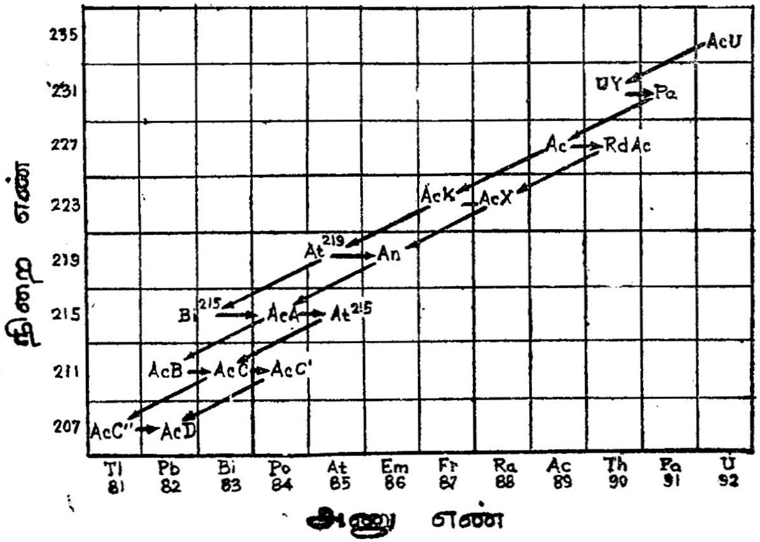


படம் 4—10
யுரேனியம் (4n + 2) வரிசை.

கதிரியக்க நியூக்ளைடும் தனிம அமைப்பின் (periodic system) இறுதிவரை உள்ள மூன்று நீளமான தொடர்கள் அல்லது கதிரியக்க வரிசைகளில் (radioactive series) ஒன்றன் அங்கமாக

உள்ளது தெரியவந்தது. இந்த வரிசைகள் யுரேனியம் வரிசை, ஆக்டினியம் வரிசை, தோரியம் வரிசை எனப் பெயரிடப்பட்டன. யுரேனியம் வரிசையில் உள்ள ஒவ்வொரு பொருளின் நிறை எண்ணேயும் 4n + 2 என்ற வடிவில் கூறலாம். இதில் n என்பது ஒரு முழு எண். சில சமயங்களில் யுரேனியம் வரிசை, '4n + 2 வரிசை' எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. ஆக்டினியம் வரிசை, தோரியம் வரிசை இரண்டிலும் முறையே நிறை எண்கள் முறையே 4n + 3, 4n என்ற வடிவில் கொடுக்கப்படுகின்றன. நிறை எண்கள் 4n + 1 என்ற வடிவில் குறிக்கப்படும் எந்த ஒரு கதிரியக்க வரிசையும் இல்லை.

அட்டவணை I-ல்,யுரேனியம் வரிசையின் பொருள்கள், அணு சிதைவுறும் முறை, அரைவாழ்வுக் காலம், சிதைவு மாறிலி, வெளிப்படும் துகள்களின் பெரும அளவு ஆற்றல் ஆகிய



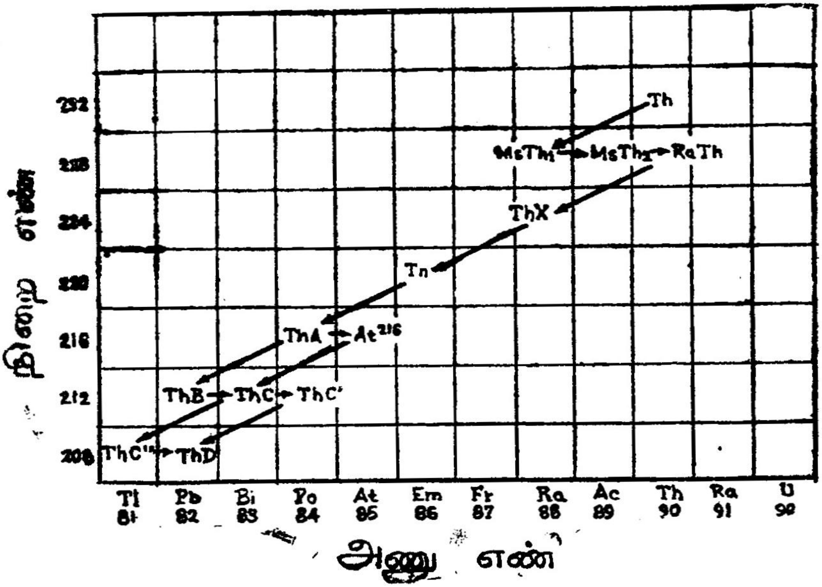
படம் 4—11

ஆக்டினியம் (4n + 3) வரிசை

விவரங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. படம் 4-10-ல் யுரேனியம் வரிசையிலுள்ள பொருள்களின் அணு எண், நிறை எண் ஆகியவற்றில் சிதைவின் போது ஏற்படும் மாறுதல்கள் காட்டப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை II-ல் ஆக்டினியம் வரிசையின் பொருள்கள், அரைவாழ்வுக் காலம், சிதைவு மாறிலி போன்ற விவரங்கள் தரப்பட்டுள்ளன. அவ் வரிசையிலுள்ள பொருள்களின் அணு எண், நிறை எண் ஆகியவற்றில் சிதைவின்போது ஏற்படும் மாறுதல்கள் படம் 4-11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை III-ல் தோரியம் வரிசையின் பொருள்கள், அரைவாழ்வுக் காலம், சிதைவு மாறிலி ஆகிய விவரங்கள் தரப்பட்டுள்ளன. அவ் வரிசையிலுள்ள பொருள்களின் அணு எண், நிறை எண் ஆகியவற்றில் சிதைவின் போது ஏற்படும் மாறுதல்கள் படம் 4-12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 4—12

தோரியம் (4n) வரிசை.

அட்டவணையில் முதல் பத்தியில் கதிரியக்கப் பொருளின் பழைய சரித்திரப் பெயர்களும், இரண்டாவது பத்தியில் தற்காலத்திய அடையாளக் குறியும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. வசதிக்காக இரண்டும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. பழைய பெயர், கதிரியக்கப் பொருள் அமைந்துள்ள வரிசையையும், வரிசையில் பொருளின் சார்பு நிலையையும் குறிப்பிடுகின்றது. புதிய

அடையாளக் குறிப் பொருளின் அணு எண், நிறை எண் ஆகிய வற்றைக் குறிப்பிடுகிறது. கதிரியக்கத்தின் தன்மையை, சிதைவுறும் முறை, அரைவாழ்வுக் கால அளவு அல்லது சிதைவு மாறிலி, வெளிப்படும் துகளின் ஆற்றல் ஆகியவை சுட்டிக் காட்டுகின்றன. அரைவாழ்வுக் காலமானது ஆண்டுகள், நாள்கள், மணிகள், நிமிடங்கள் அல்லது செகண்டுகளாக இருக்கலாம். அவை முறையே ஆ, நா, ம, நி, செ என்று சுருக்கப்பட்டுள்ளன. பீட்டாத் துகள்களைப் பொறுத்த வரையில், அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல் அவற்றின் பெரும அளவு பெற்ற துகள்களின் ஆற்றலைக் குறிக்கின்றன. சில கதிரியக்கப் பொருள்களுக்கு வெளிப்படும் α துகள்கள் ஒற்றை ஆற்றல் (mono energetic) உள்ளனவாகவும் மற்ற பொருள்களுக்கு ஒரு α துகள் பல ஆற்றல் மதிப்புகளில் ஒன்றையும் பெற்றிருக்கலாம். அப்போது, மிக அதிகமான மதிப்பு, அட்டவணையில் 'பெ' என்று கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

'சாடி இடப்பெயர்ச்சி விதி'யை (soddy's displacement law) படம் 4-10, 4-12 ஆகியவை விளக்குகின்றன. ஒரு α துகள் வெளிப்படுவதால் அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தை 2 அலகுகள் குறைக்கின்றது; நிறை எண்ணை 4 அலகுகள் குறைக்கின்றது. ஒரு β துகள் வெளிப்படுவதால் அணுக் கருவின் மின்னூட்டம் 1 அலகு அதிகரிக்கின்றது; நிறை எண் மாறுவதில்லை. படங்களில் ஒரு α சிதைவு கீழ்நோக்கி இடதுபுறமாகச் சாய்ந்த அம்புக்குறியாலும், ஒரு β துகள் வெளிப்படுதல் கிடைமட்டமாக வலப்புறம் நோக்கிய அம்புக் குறியாலும் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரே பத்தியில் காட்டப் பட்டுள்ள எல்லாத் தனிமங்களும் ஒரே அணு எண் பெற்றிருக் கின்றன. என்வே, தனிம அட்டவணையில் அவை யாவும் ஒரே இடத்தைப் பெற்றிருக்கும். உதாரணமாக, RaA, RaC′, RaF, AcA, AcC′, ThA, ThC′ ஆகிய யாவற்றிற்கும் அணு எண் 84 ; ஆகவே, இவை யாவும் போலோனியத்தின் ஐசடோப்புகள் ஆகும். இதுபோலவே RaB, RaD, RaG, AcB, AcD, ThB, ThD ஆகியவற்றின் அணு எண் 82; இவை யாவும் ஈயத்தின் (lead) ஐசடோப்புகளாகும். படம் 4-12 ன் மூலமாக வரையப்பட்ட படங்கள் 1913-ல் சாடி, ஐசடோப்புகள் இருப்பதைக் கண்டு பிடிக்க உதவின.

கதிரியக்க வரிசையை உண்டாக்கும் பெரும்பாலான சிதைவு நிகழ்ச்சிகளில், கதிரியக்கப் பொருள்கள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு α துகளையோ அல்லது ஒரு β துகளையோ வெளிவிட்டு விளை

அட்டவணை 4 - I
யுரேனியம் வரிசை

கதிரியக்க இனம்	நியூக்ளைடு	சிதைவு வகை	அரை வாழ்வுக் காலம்	சிதைவு மாறிலி செகண்டு$^{-1}$	துகளின் ஆற்றல் Mev.
யுரேனியம் I (uI)	$_{92}U^{238}$	α	$4{\cdot}50 \times 10^{9}$ ஆ	$4{\cdot}88 \times 10^{-18}$	4·20.
யுரேனியம் X_1 (uX_1)	$_{90}Th^{234}$	β	24·1 நா	$3{\cdot}33 \times 10^{-7}$	0·19.
யுரேனியம் X_2 (uX_2)	$_{91}Pa^{234}$	β	1·18 நி	$9{\cdot}77 \times 10^{-8}$	2·32.
யுரேனியம் Z (uZ)	$_{91}Pa^{234}$	β	6·7 ம	$2{\cdot}88 \times 10^{-5}$	1·13.
அயோனியம் (Io)	$_{90}Th^{230}$	α	$8{\cdot}0 \times 10^{4}$ ஆ	$2{\cdot}75 \times 10^{-13}$	4·68 m.
ரேடியம் (Ra)	$_{88}Ra^{226}$	α	1620 ஆ	$1{\cdot}36 \times 10^{-11}$	4·777 m.
ரேடியம் வளி (Rn)	$_{86}Em^{222}$	α	3·82 நா	$2{\cdot}10 \times 10^{-6}$	5·486
ரேடியம் A (RaA)	$_{84}Po^{218}$	α, β	3·05 நி	$3{\cdot}78 \times 10^{-8}$	$\alpha = 5{\cdot}998.\ \beta = ?$
ரேடியம் B (RaB)	$_{82}Pb^{214}$	β	26·8 நி	$4{\cdot}31 \times 10^{-4}$	0·7
அஸ்டாடைடின் —218	$_{85}At^{218}$	α	1·5—2·0 செ.	0·4	6·63
ரேடியம்—C (RaC)	$_{83}Bi^{214}$	α, β	19·7 நி	$5{\cdot}86 \times 10^{-4}$	α: 5.51m $\beta = 3{\cdot}17$
ரேடியம்—C′ (RaC′)	$_{84}Po^{214}$	α	$1{\cdot}64 \times 10^{-4}$ செ.	$4{\cdot}23 \times 10^{-3}$	7·683
ரேடியம்—C″ (RaC″)	$_{81}Tl^{210}$	β	1·32 நி	$8{\cdot}75 \times 10^{-4}$	1·9
ரேடியம்—D (RaD)	$_{82}Pb^{210}$	β	19·4 ஆ	$1{\cdot}13 \times 10^{-9}$	0·017
ரேடியம்—E (RaE)	$_{83}Bi^{210}$	β	5·0 நா	$1{\cdot}60 \times 10^{-6}$	1·155
ரேடியம்—F (RaF)	$_{84}Po^{210}$	α	138·3 நா.	$5{\cdot}80 \times 10^{-8}$	5·300
தாலியம்—206 (Tl^{206})	$_{81}Tl^{206}$	β	4·2 நி.	$2{\cdot}75 \times 10^{-3}$	1·51
ரேடியம்—G (RaG)	$_{82}Pa^{206}$	நிலையானது			

பொருளின் ஓர் அணுவை உண்டாக்கி ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில் பிளவுபடுகின்றன. ஆனால், சில சமயங்களில் மட்டும், அணுக்கள் இரு வேறுபட்ட விதங்களில் பிளவுபட்டு வெவ்வேறு பண்புகள் கொண்ட இரு விளைபொருள்களை உண்டாக்குகின்றன. இந்த மாதிரியான சிதைவிற்குக் 'கிளைவிடும் சிதைவு' (branching decay) என்று பெயர். இதன் உதாரணமாக யுரேனியம் வரிசையில் Po^{218} (RaA), Bi^{214} (RaC), Bi^{210} (RaE), ஆக்டினியம் வரிசையில் Ac^{227}, Po^{215} (AcA) Bi^{211} (AcC), $_{87}Fr^{228}$ (AcK), $_{85}At^{219}$, தோரியம் வரிசையில் Po^{216} (ThA), Bi^{212} (Thc) ஆகியவற்றின் சிதைவுகளைக் கூறலாம். இந்த ஒவ்வொரு கதிரியக்கப் பொருளும் ஒரு α துகளையாவது அல்லது ஒரு β துகளையாவது வெளிப்படுத்திச் சிதைவுறுகின்றது. சிதைவுறும் வாய்ப்பு, தனித்தனி வாய்ப்புகளின் கூட்டுத்தொகையாகும். மேலும் $\lambda = \lambda_\alpha + \lambda_\beta$;

அரைவாழ்வுக் காலம் $T = 0{\cdot}693/\lambda = 0.693/\lambda_\alpha + \lambda_\beta$. பெரும்பாலான இடங்களில் சிதைவின் ஒரு முறை மற்றதைவிட வாய்ப்புப் பெற்றதாக உள்ளது. RaA, AcA ஆகிய இரண்டும் பெரும்பாலும் α துகளை வெளிப்படுத்தியே சிதைவுறுகின்றன; அவற்றின் அணுக்களின் ஒரு சதவீதந்தான் β துகளை வெளிவிட்டுச் சிதைவுறுகிறது. இதற்கு மாறாக RaC, RaE, Ac, AcC ஆகியவை β துகளை வெளிவிட்டே பெரும்பாலும் சிதைவுறுகின்றன. இவற்றின் ஒரு சதவீதம் அல்லது அதற்கும் குறைவான பகுதியே α துகளை வெளிவிட்டுச் சிதைவுறுகின்றன. இந்த இருவகைச் சிதைவுகளுக்கும் மாறுபட்ட வகையில் ThC (Bi^{212})-ன் சிதைவு உள்ளது. ஏனெனில், அதில் 66·3 % β துகள்களும், 33·7 % α துகள்களும் வெளிப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு கிளைவிடும் சிதைவிலும் விளைபொருள்களின் அணுக்கள் சிதைவுற்று அதே இறுதிப் பொருளைக் கொடுக்கின்றன. உதாரணமாக, ThC-யிலிருந்து ஒரு β துகள் வெளிப்பட்டு ThC' (Po^{212}) உண்டாகிறது; அல்லது ஒரு α துகள் வெளிப்பட்டு ThC" (Tl^{208}) உண்டாகிறது. பிறகு, ThC' ஒரு α துகளை வெளிப்படுத்தி நிலையான Pb^{208} (ThD) கொடுக்கிறது. அப்போது ThC" ஒரு β துகளை வெளிப்படுத்தி நிலையான Pb^{208} யையே கொடுக்கிறது.

கதிரியக்க அலகுகள்

கதிரியக்கத்தின் வலிமை இதுவரை ஓரலகு நேரத்தில் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கொண்டோ அல்லது கண்டுணர் கருவியால் ஓரலகு நேரத்தில் வெளிப்

அட்டவணை 4 - II

ஆக்டினியம் வரிசை

கதிரியக்க வகை	நியூக்ளைடு	சிதைவு வகை	அரைவாழ்வுக் காலம்	சிதைவு மாறிலி செகண்டு $^{-1}$	துகளின் ஆற்றல் Mev.
ஆக்டி ஞ்யுரேனியம் (Acu)	$_{92}U^{235}$	α	$7{\cdot}10 \times 10^{8}$ ஆ.	$3{\cdot}09 \times 10^{-17}$	4·559 m
யுரேனியம் Y (uY)	$_{90}Th^{231}$	β	25·6 ம	$7{\cdot}51 \times 10^{-6}$	0·30.
புரோட்டா ஆக்டினியம் (Pa)	$_{91}Pa^{231}$	α	$3{\cdot}43 \times 10^{4}$ ஆ.	$6{\cdot}40 \times 10^{-13}$	5·046 m
ஆக்டினியம் (Ac)	$_{89}Ac^{227}$	α, β	21.6 ஆ	$1{\cdot}02 \times 10^{-9}$	$\alpha : 4{\cdot}94\ \beta = 0{\cdot}046$.
ரேடியோஆக்டினியம் (RdAc)	$_{90}Th^{227}$	α	18·17 நா.	$4{\cdot}41 \times 10^{-7}$	6·03 நி.
ஆக்டினியம் K (AcK)	$_{87}Fr^{223}$	α, β	22 நி.	$5{\cdot}25 \times 10^{-4}$	$\alpha : 5\ 34\ \beta = 1{\cdot}12$.
ஆக்டினியம் X (AcX)	$_{88}Ra^{223}$	α	11·68 நா.	$6{\cdot}87 \times 10^{-7}$	5·864
அஸ்டாடைன், -219	$_{85}At^{219}$	α, β	0·9 ம	$1{\cdot}26 \times 10^{-2}$	$\alpha = 6{\cdot}27.\ \beta = ?$
ஆக்டினியம் வளி (An)	$_{86}Em^{219}$	α	3·92 செ	0·177	6·810 m.
பிஸ்மத் - 215	$_{83}Bi^{215}$	α, β	8 ம	$1{\cdot}44 \times 10^{-3}$	?
ஆக்டினியம் - A (AcA)	$_{84}Po^{215}$	α, β	$1{\cdot}83 \times 10^{-3}$ செ.	$3{\cdot}79 \times 10^{2}$	$\alpha = 7{\cdot}37\ \beta = ?$
ஆக்டினியம் - B (AcB)	$_{82}Pb^{211}$	β	36·1 நி.	$3{\cdot}20 \times 10^{-4}$	1·39
ஆஸ்டாடைன் - 215	$_{85}At^{215}$	α	10^{-4} செ.	7×10^{3}	8·00
ஆக்டினியம் - C (AcC)	$_{83}Bi^{211}$	α, β	2·15 நி	$5{\cdot}28 \times 10^{-3}$	$\alpha = 6{\cdot}617\ \beta = ?$
ஆக்டினியம் - c′ (AcC′)	$_{84}Po^{211}$	α	0·52 செ	1·33	7·422 m
ஆக்டினியம் - c″ (AcC″)	$_{81}Tl^{207}$	β	4·79 நி	$2{\cdot}41 \times 10^{-3}$	1·44
ஆக்டினியம் - D (AcD)	$_{82}Pb^{207}$	நிலையானது			

படுவதாகக் கணக்கிடப்பட்ட துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கொண்டோ அளவிடப்பட்டது. இயற்பியலின் மற்ற பகுதிகளைப் போல, கதிரியக்கத்திலும் ஒரு குறிப்பிட்ட பெயரில் ஒரு படித்தர அளவியல் அலகு இருந்தால் அது மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கும். கதிரியக்கத்தின் படித்தர அலகு 'க்யூரி' (Curie) எனப்படுகிறது. **எந்தக் கதிரியக்கப் பொருள் ஒரு செகண்டில் $3 \cdot 7 \times 10^{10}$ சிதைவுகளைக் கொடுக்கின்றதோ அந்தப் பொருளின் அளவு ஒரு க்யூரி** என்று தற்போது வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. க்யூரியில் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கான மில்லி க்யூரி (millicurie), க்யூரியில் ஒரு மில்லியனில் ஒரு பங்கான மைக்ரோக்யூரி (micro curie) ஆகியவையும் மிகவும் பயன்படும் அலகுகளாகும். இவை ஒரு செகண்டு நேரத்தில் முறையே $3 \cdot 7 \times 10^7$, $3 \cdot 7 \times 10^4$ சிதைவுகளைக் கொடுக்கும் கதிரியக்கப் பொருள்களாகும்.

வரலாறு சம்பந்தப்பட்ட சில வேறுபட்ட காரணங்களால் க்யூரி அலகு ஒரு படித்தர அலகாகப் பயன்படுத்தப்படவில்லை. ஆகவே, 'ரூதர்ஃபோர்டு' (rutherford) என்ற ஒரு கதிரியக்கச் சிதைவு வீதத் தனி அலகு (absolute unit) கையாளப்பட்டது. **ஒரு ரூதர்ஃபோர்டு என்பது ஒரு செகண்டு நேரத்தில் 10^6 சிதைவுகளைக் கொடுக்கும் கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு** என வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. மில்லி ரூதர்ஃபோர்டு (mrd), மைக்ரோ ரூதர்ஃபோர்டு (μrd) ஆகியவை ஒரு செகண்டில் முறையே 10^3 சிதைவுகளையும், 1 சிதைவையும் கொடுக்கும் கதிரியக்கப் பொருளின் அளவுகளாகும்.

இந்த அலகுகளின் அளவைப் புரிந்துகொள்ள முதலில் ஒரு க்யூரி RaB (Pb^{214})-ன் எடையைக் கிராமில் கணக்கிடலாம். RaB-யின் அரைவாழ்வுக் காலம் 26·8 நிமிடம். அதன் சிதைவு மாறிலி $\lambda = 4 \cdot 31 \times 10^{-4}$/செகண்டு. காண வேண்டிய எடை W.

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N = 4 \cdot 31 \times 10^{-4} \times \frac{W}{214} \times 6 \cdot 02 \times 10^{23}.$$

$$= 1 \cdot 21 \ W \times 10^{18} \text{ சிதைவுகள் / செகண்டு.}$$

$$-\frac{dN}{dt} = 3 \cdot 2 \times 10^{10} \text{ சிதைவுகள்/செகண்டு} = 1 \text{ க்யூரி என்றால்}$$

அட்டவணை 4 - III
தோரியம் வரிசை.

கதிரியக்க வகை	நியூக்ளைடு	சிதைவு வகை	அரைவாழ்வுக் காலம்	சிதைவு மாறிலி செகண்டு$^{-1}$	துகளின் ஆற்றல் Mev.
தோரியம் (Th)	$_{90}Th^{232}$	α	$1{\cdot}39 \times 10^{10}$ ஆ	$1{\cdot}58 \times 10^{-18}$	4·007
மெசோ தோரியம் (MsTh1)	$_{88}Ra^{228}$	β	6·7 ஆ	$3{\cdot}28 \times 10^{-9}$	0·04
மெசோ தோரியம் (MsTh2)	$_{89}Ac^{228}$	β	6·13 ம	$3{\cdot}14 \times 10^{-5}$	2·18
ரேடியோ தோரியம் (RdTh)	$_{90}Th^{228}$	α	1·910 ஆ	$1{\cdot}15 \times 10^{-8}$	5·423 m
தோரியம் X (ThX)	$_{88}Ra^{224}$	α	3·64 நா	$2{\cdot}20 \times 10^{-6}$	5·681 m
தோரியம் வளி (Tn)	$_{86}Em^{220}$	α	51·5 செ.	$1{\cdot}34 \times 10^{-2}$	6·280
தோரியம் A (ThA)	$_{84}Po^{216}$	α, β	0·16 செ.	4·33	6·774
தோரியம் B (ThB)	$_{82}Pb^{212}$	β	10·6 ம.	$1{\cdot}82 \times 10^{-5}$	0·58
அஸ்டாடைன்-216 (At^{216})	$_{85}At^{216}$	α	3×10^{-4} செ.	$2{\cdot}3 \times 10^{8}$	7·79
தோரியம் C (ThC)	$_{83}Bi^{212}$	α, β	60·5 ம.	$1{\cdot}91 \times 10^{-4}$	α : 6·086 m β : 2·25
தோரியம் C′ (ThC′)	$_{84}Po^{212}$	α	$3{\cdot}0 \times 10^{-7}$ செ.	$2{\cdot}31 \times 10^{6}$	8·780
தோரியம் C″ (ThC″)	$_{81}Tl^{208}$	β	3·10 ம.	$3{\cdot}73 \times 10^{-3}$	1·79
தோரியம் D (ThD)	$_{82}Pb^{208}$	நிலையானது			

$$W = \frac{3 \cdot 7 \times 10^{10}}{1 \cdot 21 \times 10^{18}} = 3 \cdot 1 \times 10^{-8} \text{ கிராம்.}$$

இதே போன்று ஒரு ரூதர்ஃபோர்டுக்கு :

$$W = \frac{10^{6}}{1 \cdot 21 \times 10^{18}}$$

$$= 8 \cdot 3 \times 10^{-13} \text{ கிராம்.}$$

ஆகவே, குறைந்த ஆனால் மிகக்குறைந்ததல்லாத அரை வாழ்வுக் காலம் கொண்ட பொருளில், ஒரு க்யூரி கதிரியக்கம் பெற, மிகச்சிறிய அளவே தேவை. அரைவாழ்வுக் காலம் ஒரு செகண்டில் சிறு பகுதியானால் (உதாரணமாக Po^{214}, Po^{215}, At^{215}, At^{216}, Po^{212}) ஒரு க்யூரி கதிரியக்கம் கொடுக்கும் பொருளின் அளவு நினைக்க முடியாத அளவு சிறியதாக உள்ளது. அரைவாழ்வுக் காலம் மிகவும் நீளமான கதிரியக்கப் பொருளுக்கு (u^{238}-க்கு $T = 4 \cdot 5 \times 10^{9}$ ஆண்டுகள்; $\lambda = 4 \cdot 9 \times 10^{-18}$ /செகண்டு) λ குறைவாக உள்ளது. அப்போது

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N = 4 \cdot 9 \times 10^{-18} \times \frac{W}{238} \times 6 \cdot 02 \times 10^{23}$$

$1 \cdot 14 \times 10^{4}$ சிதைவு /செகண்டு

ஆகவே, ஒரு க்யூரி கதிரியக்கத்திற்கு

$$W = \frac{3 \cdot 7 \times 10^{10}}{1 \cdot 14 \times 10^{4}} = 3 \cdot 2 \times 10^{6} \text{ கிராம்.}$$

அதாவது, மூன்று மெட்ரிக் டன் எடையைவிட அதிகமான பொருள் தேவைப்படுகிறது.

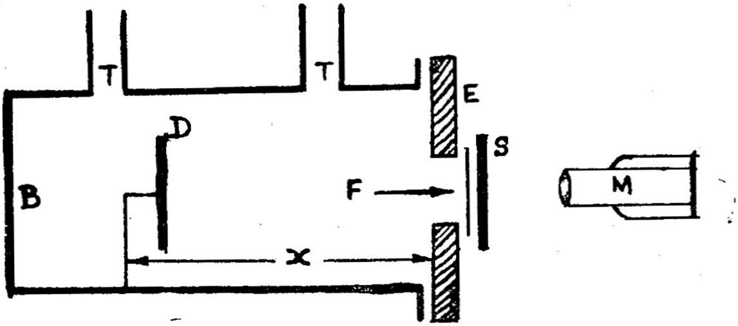
5. செயற்கை அணுக்கருச் சிதைவு

ஆல்ஃபாத் துகளால் உண்டாக்கப்படும் கருமாற்றம் :

இயற்கையாகக் கதிரியக்கம் பெற்றுள்ள சில அணுக்கள் புறத் தூண்டுதலின்றிச் சிதைவுறுகின்ற நிகழ்ச்சி, கதிரியக்கமற்ற சாதாரணப் பொருள்களின் அணுக்களிலும் சிதைவை உண்டாக்கும் சாத்தியத்தை ஆராயத் தூண்டியது. அதிக ஆற்றலுள்ள துகள்களால் அணுவைத் தாக்கினால், அவற்றில் ஏதாவது ஒன்று ஓர் அணுக்கருவை ஊடுருவிச் சிதைவை உண்டாக்கக்கூடும் எனத் தோன்றியது. இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் கதிர்வீச்சுகள், இவற்றிலும் முக்கியமாக ஆற்றலும், உந்தமும் அதிகம் பெற்றுள்ள α துகள்கள் இதற்குப் பயன்படுத்தப்படலாம். அணுவைத் தாக்கப் பயன்படுத்தப்படும் α துகள்களில் பெரும்பான்மை யானவை சிதறடிக்கப்பட்டுவிடுவதால், அணுக்கருச் சிதைவை உண்டாக்கும் வாய்ப்பு மிகக் குறைவாகவே இருக்கும். ஆனால், தாக்கப்படும் அணுக்கரு, தாக்கும் α துகள் ஆகியவற்றிற் கிடையே உண்டாகும் கூலும் விசையின் (coloumb force) எண் மதிப்பைக் குறைக்க அணு எடை குறைவான தனிமங்களைத் தாக்கப்படும் பொருள்களாக எடுத்துக் கொண்டால், α துகள்கள் சிதறுவது குறைக்கப்பட்டு, அணுக்கரு சிதைவுறும் வாய்ப்பு அதிகரிக்கலாம்.

இந்தக் கருத்துகளின் அடிப்படையில், 1919-ம் ஆண்டு ரூதர்ஃபோர்டு முதல் அணுக்கருச் சிதைவைச் செய்தார். ரேடியம் C-யிலிருந்து வெளிப்படும் α துகள்களைக்கொண்டு நைட்ரஜன் அணுக்களைத் தாக்கினால், நைட்ரஜன் அணுக்கருக்கள் மிக வேகமாகச் செல்லும் புரோட்டான்களை வெளிப்படுத்து வதை அவர் காட்டினார். அவர் பயன்படுத்திய மிக எளிமை யான ஆனால் நல்ல உணர்வு நுட்பமுள்ள கருவியின் அமைப்பு படம் 5-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. E என்ற பக்கத்தில் ஒரு திறப்பு வெட்டப்பட்டு அது F என்ற வெள்ளிப் படலத்தால் (Silver foil) மூடப்பட்டுள்ளது. இந்தத் திறப்பிற்குச் சற்று வெளிப்புறத்தில் S என்ற துத்தநாக சல்ஃபைடு திரை

வைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தத் திரையின்மேல் உண்டாகும் சுடர்கள் M என்ற நுண்ணோக்கியால் காணப்படுகின்றன. இந்தப் பரிசோதனைகளில் α துகள்களின் தோற்றுவாயான ரேடியம் C, D என்ற ஒரு சிறிய தட்டில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. D-க்கும் S-க்கும் இடையேயுள்ள தூரம் மாற்றக்கூடியது. தோற்றுவாயிலிருந்து வரும் α துகள்கள் யாவற்றையும் உட்கவரக்கூடிய அளவு தடிப்புள்ளதாக F என்ற வெள்ளித் தகடு உள்ளது. பெட்டியினுள் அதன் பக்கக் குழாய்கள் T வழியாக வெவ்வேறு வாயுக்களைச் செலுத்தலாம். பெட்டியில் ஆக்சிஜன் அல்லது கார்பன் - டை - ஆக்சைடு



படம் 5–1

ஆல்ஃபாத் துகள்களால் ஹைட்ரஜன் அணுக்கருச் சிதைவை உண்டாக்கும் ரூதர்ஃபோர்டின் ஆய்கருவி.

B-பெட்டி; **F** வெள்ளி இழை; **S**-திரை; **T**-பக்கக்குழாய்கள்; **D**-ரேடியம் வைக்கப்படும் தட்டு; **M**-நுண்ணோக்கி.

வளிமண்டல அழுத்தத்தில் இருந்து α துகள் தோற்றுவாய் 7 செ.மீ. அல்லது அதற்கும் அதிகமான தூரத்தில் இருக்கும் போது திரையில் எந்தச் சுடரும் காணப்படவில்லை. ஆனால், பெட்டியிலுள்ள வாயு நைட்ரஜனாக இருந்து, திரைக்கும் α துகளின் தோற்றுவாய்க்கும் இடையே உள்ள தூரம் 40 செ.மீ. அளவு இருந்தால்கூட, திரையில் சுடர்கள் காணப் பட்டன. ரேடியம் C-ன் α துகள்கள் 40 செ.மீ. காற்றுத் தடிப்பை ஊடுருவ முடியாது என்பது தெரிந்திருந்ததால், நைட்ரஜன் அணுக்கருவை ஒரு α துகள் தாக்கியதால் வெளிப்பட்ட துகள்களால்தான் திரையில் சுடர்கள் உண்டாக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும் என்று ரூதர்ஃபோர்டு முடிவு செய்தார். காந்த விலக்கல் பரிசோதனைகளால், சுடரை

உண்டாக்கிய துகள்கள் புரோட்டான்கள் என்று முடிவு செய்யப்பட்டது. நுணுக்கமான சோதனைகளும் இதே முடிவைத் தந்தன.

ரூதர்ஃபோர்டு தம்முடைய நுணுக்கமான பரிசோதனைகளால். நைட்ரஜனிலுள்ள ஹைட்ரஜன் மாசுக்களிலிருந்து வரும் புரோட்டான்களை நீக்கிவிட்டு, திரையில் சுடரை உண்டாக்கிய புரோட்டான்கள் நைட்ரஜன் சிதைவிலிருந்துதான் வந்தவை என உறுதிப்படுத்தினர். ஆகவே, அணுக்கருவைச் சிதைக்க முடியும் என்பது உறுதிப்பட்டது. பரிசோதனைப்படி சிதைவு ஏற்படும் வாய்ப்பு மிகவும் குறைவு என்பதும் தெரிந்தது; சுமாராக, வாயுவில் செல்லும் ஒரு மில்லியன் α துகள்களுக்கு ஒரு புரோட்டான்தான் உண்டாயிற்று. நைட்ரஜனுக்குச் செய்த பரிசோதனையை ரூதர்ஃபோர்டு, சாட்விக் ஆகிய இருவரும் மற்ற தனிமங்களுக்கும் செய்தார்கள். பரிசோதனைகள் மூலம், கார்பன், ஆக்சிஜன் தவிர, ஃபோரானிலிருந்து பொட்டாசியம் வரை உள்ள எல்லாக் கனமற்ற தனிமங்களும் அணுக்கருச் சிதைவுறுகின்றன என்று கண்டுபிடித்தனர். சில சமயங்களில், தாக்கும் α துகள்களின் ஆற்றலைவிட அணுக்கருச் சிதைவில் வெளிப்படும் துகளுக்கு அதிக ஆற்றல் இருப்பதையும் அவர்கள் கண்டார்கள். இச் சோதனைகளால், அணுக்கருச் சிதைவினுல்தான் புரோட்டான்கள் வெளிப்படுகின்றன என்பது மேலும் உறுதிப்படுத்தப்பட்டது. புரோட்டான்களின் மிகையான ஆற்றல் அணுக்கருவின் புதிய அமைப்பிலிருந்து பெறப்பட்டதாகும்.

புரோட்டான்களை வெளிப்படுத்தும் அணுக்கரு நிகழ்வின் தன்மைக்கு இரு கருத்துகள் தரப்பட்டன. அவைகளில் ஒன்று: மிக வேகமாக வரும் α துகளின் மோதலால் தாக்கப்பட்ட அணுவின் அணுக்கரு ஒரு புரோட்டானை இழக்கிறது. இரண்டாவது: α துகளால் தாக்கப்படும் அணுவின் அணுக்கரு அதைத் தாக்கும் α துகளை உட்கவருகிறது. அதனுல் உண்டாகும் புதிய அணுக்கரு ஒரு புரோட்டானை வெளியிடுகிறது. இந்த இரு கருத்துகளையும் சோதனைப்படி பரிசீலிக்க வேண்டும். ஏனெனில், இரண்டாவது கருத்துப்படி, தாக்கும் α துகள் மறைந்துவிட வேண்டும். முதல் கருத்துப்படி, மோதலுக்குப் பிறகும் α துகள் நிலைத்திருக்க வேண்டும். இந்த இரு கருத்துகளில் எது சரியானது என்பது 1925-ம் ஆண்டு முடிவு செய்யப்பட்டது.

ஒரு முகிற்கலனைக் கொண்டு, நைட்ரஜன் வழியாகச் செல்லும் α துகள்களின் பாதையைப் படம் எடுத்து பிளாக்கெட் ஆராய்ந்தார். அவர், அணுக்கருச் சிதைவின் பலனாக α துகள், ஒரு புரோட்டான், ஒரு பின் உதைப்பு (recoil) அணுக்கரு ஆகிய மூன்றின் பாதைகளே உள்ளன என்பதைச் சுட்டிக் காட்டினார். மோதலுக்குப் பிறகு α துகளின் பாதை இல்லாமலிருப்பதால், தாக்குதலின்போது α துகள் மறைந்து விடுகிறது என்பது உறுதிப்படுகிறது. அணுக்கருச் சிதைவு, ஒரு புரோட்டானை வெளிவிடுவது, நைட்ரஜன் அணுக்கரு அழிவதன் பலன் என எடுத்துக்கொண்டால், புகைப்படத்தில் மூன்றுக்குப் பதிலாக நான்கு பாதைகள் இருக்க வேண்டும். ஆகவே, மோதலுக்குப் பிறகு, α துகள் நைட்ரஜன் அணுக்கருவினுள் ஊடுருவி ஒரு புதிய நிலையற்ற அணுக்கரு அமைப்பு உண்டாகிறது என்றும், அதனால் ஒரு புரோட்டான் வெளிப்படுத்தப்படுகிறது என்றும் முடிவு செய்யப்பட்டது.

α துகளினால் ஏற்படும் நைட்ரஜன் அணுக்கருச் சிதைவை வேதியியல் வினைச்சமன்பாடுகள் போலக் குறிப்பிடலாம்.

$$ {}_7N^{14} + {}_2He^4 \longrightarrow [{}_9F^{18}] \longrightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1 $$

இந்தச் சமன்பாட்டின் இடப்பக்கத்தில் உள்ள குறிகள் வினைபெறும் பொருள்களைக் குறிக்கின்றன. அடைப்புக்குள் இருக்கும் குறி, நைட்ரஜன் அணுக்கரு α துகளை உட்கவருவதால் உண்டாகும் நிலையற்ற அணுக்கருவைக் காட்டுகிறது. இந்த மாதிரி அணுக்கருவிற்குக் "கூட்டு அணுக்கரு" (compound nucleus) எனப் பெயர். வினையின் வினைபொருள்களான, வெளிப்பட்ட புரோட்டானும், இறுதி அணுக்கருவும் சமன்பாட்டின் வலப்பக்கத்தில் காட்டப் பட்டுள்ளன. சமன்பாட்டின் இருபக்கங்களிலுமுள்ள மின்னூட்டமும் நிறை எண்ணும் சமமாக இருக்க வேண்டும். ஆகவே, நைட்ரஜன் அணுக்கரு, ஆக்சிஜனின் ஐசடோப்பாக மாறியாக வேண்டும். எனவே, இந்த நிகழ்ச்சியில் ஒரு நைட்ரஜன் அணு ஓர் ஆக்சிஜன் அணுவாக கருமாற்றம் (transmutation) அடைந்துள்ளது. இந்தக் கருமாற்றத்தை $N^{14}(\alpha, p)\ O^{17}$ என்ற குறியாலும் குறிப்பிடலாம். கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து கிடைக்கும் α துகள்களினால் உண்டாகும் மற்ற கருமாற்றங்கள் பின்வரும் சமன்பாடுகளால் காட்டப் பட்டுள்ளன:

$$_5B^{10} + {}_2He^4 \longrightarrow [\,_7N^{14}\,] \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_1H^1$$

$$_{11}Na^{23} + {}_2He^4 \longrightarrow [\,_{13}A^{27}\,] \longrightarrow {}_{12}Mg^{26} + {}_1H^1$$

$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \longrightarrow [\,_{15}P^{31}\,] \longrightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_1H^1$$

$$_{16}S^{32} + {}_2He^4 \longrightarrow [\,_{18}A^{36}\,] \longrightarrow {}_{17}Cl^{35} + {}_1H^1$$

$$_{19}K^{39} + {}_2He^4 \longrightarrow [\,_{21}Se^{43}\,] \longrightarrow {}_{20}Ca^{42} + {}_1H^1$$

இந்த ஒவ்வொரு நிகழ்ச்சியிலும் அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் ஓரலகும், நிறை மூன்று அலகுகளும் அதிகரிக்கின்றது. ஆகவே, பொதுவாக ஓர் ஆல்ஃபா-புரோட்டான் வினையைக் கீழ்க்கண்ட அமைப்பில் காட்டலாம் :

$$_Z X^A + {}_2He^4 \longrightarrow [\,_{Z+2}Cn^{A+4}\,] \longrightarrow {}_{Z+1}Y^{A+3} + {}_1H^1 \qquad -(1)$$

இதில் X, Y, Cn ஆகியவை முறையே தாக்கப்படும் பொருள்' முடிவான வினைபொருள், கூட்டு அணுக்கரு ஆகியவற்றைக் குறிப்பிடுகின்றன.

பல சமயங்களில் அணுக்கருக் கிரியைகளைத் தாக்கப்படும் அணுகருவைத் தவிர்த்து, தாக்கும் பொருள், வெளிப்படும் பொருள் ஆகியவற்றால் குறிப்பிடுவது வசதியாக உள்ளது. எனவே, மேலே குறிப்பிட்ட வினைகளை (α, p) வினையின் உதாரணங்கள் எனக் கூறலாம்.

ஆல்ஃபா - நியூட்ரான் இடையீட்டுச் செயல்கள்:

ஒரு α துகளை ஓர் அணுக்கரு கைப்பற்றுவதால் உண்டாகும் கூட்டு அணுக்கருவிலிருந்து எப்போதும் ஒரு புரோட்டான் வெளிப்படுவதில்லை. α துகள்களால் பெரிலியம் (Berryllium) தாக்கப்படும்போது, புரோட்டான்கள் ஒன்றுகூட வெளிப்படாமல், மிக்க ஊடுருவும் தன்மை கொண்ட கதிர்வீச்சுப் போன்ற ஒன்றே விளைபொருளாக உண்டாகிறது. இந்த நிகழ்வில் γ கதிர் ஃபோட்டான்கள் உண்டாக்கப்பட்டு அவையே கதிர்வீச்சாக வருவதாகக் கருதப்பட்டது.

$$_4Be^9 + {}_2He^4 \longrightarrow [\,_6C^{13}\,] \longrightarrow {}_6C^{13} + \gamma \qquad -(2)$$

இந்தக் கருத்து பல இடையூறுகளைக் கொடுத்தது. உட்கவர்தல் அளவீடுகளிலிருந்து வெளிப்படும் ஃபோட்டான் களாகக் கருதப்பட்ட கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் 7 Mev என்று கணக்கிடப்பட்டது. ஆனால், இந்தக் கதிர்வீச்சுகள், ஹைட்ரஜன் கொண்ட (hydrogeneous) பொருள்களிலிருந்து புரோட்டான்களை

வெளிப்படுத்தி அவற்றிற்கு 5 Mev ஆற்றலைக் கொடுத்தன. ஹைட்ரஜன் கொண்ட பொருள்களிலிருந்து γ கதிர் ஃபோட்டானின் மீட்சிமோதுகை (elastic collision) யினால் புரோட்டான்கள் வெளிப்படுவதாக எடுத்துக்கொண்டால், ஒவ்வொரு ஃபோட்டானுக்கும் சுமார் 50 Mev ஆற்றல் இருக்க வேண்டும் என்று கணக்கீட்டுப்படி உள்ளது. இந்த மதிப்பு, உட்கவர் அளவீடுகளில் பெறப்பட்ட மதிப்புகளைக்காட்டிலும் மிகப்பெரியது. ஆகவே, இந்த இருமுறைகளாலும் ஃபோட்டான்களுக்குக் கொடுக்கப்படும் ஆற்றல் மதிப்புகள் முரண்பட்டிருக்கின்றன. γ கதிர்வீச்சு என்று கருதப்படும் கதிர்வீச்சின் ஆற்றலை, வினைப்பொருள்கள் விளைபொருள்கள் ஆகியவற்றின் நிறை, ஆற்றல் முதலியவற்றைக்கொண்டும் கணக்கிட முடியும். அது, வினைப்பொருளின் Q மதிப்பை, தாக்கும் α துகளின் இயக்க ஆற்றலுடன் கூட்டி அதிலிருந்து விளைபொருள் அணுக்கருவின் பின் உதைப்பு ஆற்றலைக் கழித்தால் கிடைக்கும் மதிப்பாகும். Q மதிப்புக்கான சமன்பாடு :

$$Q = (M_x + m_x - M_y) C^2$$

ஏனெனில், ஃபோட்டானின் நிறையான m_x சுழியாகிறது. $M_x = 9{\cdot}01504$; $m_x = 4{\cdot}00387$; $M_y = 13{\cdot}00748$ என்ற மதிப்புகளைப் பதிவீடு செய்தால் Q = 10·5 Mev ஆகிறது. α துகளின் ஆற்றல் 5 Mev என்று வைத்துக்கொண்டால் வினைக்குக் கிடைக்கும் மொத்த ஆற்றல் 15 Mev. இதன் ஒரு பகுதி விளைபொருள் அணுக்கருவின் பின் உதைப்பு ஆற்றலுக்கு எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. ஆகவே, கதிர்வீச்சு ஆற்றலின் பெரும அளவு 15·5Mev—யைவிடக் குறைவாகத்தான் இருக்கும். இது 50 Mev ஆற்றலைவிட மிகக்குறைவானது.

பெரிலியத்தை α துகள் கொண்டு தாக்குவதால் உண்டாகும் விளைபொருள்களை இனம் அறிந்து கூற வேண்டிய புதிருக்கு சாட்விக் (Chadwick) விடை கண்டார். தாக்கப்பட்ட பெரிலியத்திலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சுகளால் மறுபடியும் தாக்கப்படும் அணுக்கருக்களின் பின் உதைப்பைப் பற்றிய பல பரிசோதனைகளால், பெரிலியத் தாக்குதலிலிருந்து வரும் கதிர்களை, γ கதிர்கள் என வைத்துக்கொண்டால் ; அவற்றின் ஆற்றல் மதிப்புகள் பின் உதைப்பு அணுக்களின் தன்மைகளைப் பொறுத்து அமைகின்றன என அவர் காட்டினார். உதாரணமாக, மெழுகிலிருந்து (paraffin) வெளிப்படும் புரோட்டானின் ஆற்றலைக்கொண்டு

ஃபோட்டானின் ஆற்றலைக் கணக்கிட்டால் அது 55Mev ஆகவும், பின் உதைப்பு ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்களின் ஆற்றலைக் கொண்டு கணக்கிட்டால் ஃபோட்டானின் ஆற்றல் சுமார் 90 Mev ஆகவும் கிடைக்கின்றன. பின் உதைப்பு அணுக்களின் ஆற்றல், ஃபோட்டான்களுடன் ஏற்படும் மீட்சி மோதுகையால் உண்டாகிறது என வைத்துக்கொண்டால், பின் உதைப்பு அணுவின் நிறை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, ஃபோட்டானின் ஆற்றலும் அதிகரிக்க வேண்டும். இந்த முடிவு, மீட்சி மோதுகையின் ஆற்றல் மாறாக் கோட்பாடு, உந்தம் மாறாக் கோட்பாடு ஆகியவற்றிற்கு முரணாக உள்ளது. இந்த இடையூறுகள் யாவும் சாட்விக் கருத்தை ஏற்றால் மறைந்துவிடுகின்றன. அதாவது α துகள்களால் தாக்கப்படும் பெரிலியத்திலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சு, மின்னூட்டம் எதுவுமில்லாத, புரோட்டானின் நிறைக்குச் சமமான நிறை கொண்ட துகள்களால் (நியூட்ரான், neutron) என்பதே சாட்விக் கருத்தாகும். இந்த நியூட்ரான்களை உண்டாக்கும் வினையின் சமன்பாடு :

$$ {}_4Be^9 + {}_2He^4 \longrightarrow [\,{}_6C^{13}\,] \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1 \qquad \text{—(3)} $$

இதில் n என்பது நியூட்ரானைக் குறிக்கும் அடையாளமாகும். நியூட்ரான்கள் மின்னூட்டமில்லாமலிருப்பதால் அவற்றின் ஊடுருவும் தன்மை அதிகம். ஓரலகு நிறைகொண்ட துகள்களுடன் உண்டாகும் மீட்சி மோதுகை அடிப்படையில் சாட்விக் பரிசோதனைகளின் பின் உதைப்பு அணுக்களின் ஆற்றல், கணக்கீட்டுப்படி இப்போது சரியாக அமைகிறது.

புரோட்டான்கள், நைட்ரஜன் அணுக்கருக்கள் ஆகியவற்றுடன் நியூட்ரான்கள் பெறும் மோதுகைப் பரிசோதனைகளைக் கொண்டு, நியூட்ரான்களின் நிறை சுமாராகப் புரோட்டானின் நிறைக்குச் சமமாக உள்ளது என்று சாட்விக் நிரூபித்தார். நியூட்ரான்களுக்கு மின்னூட்டமில்லாததால் மின்புலம், காந்தப் புலம் ஆகியவற்றில் உண்டாக்கப்படும் விலக்கல் முறைகளால் இவற்றின் நிறையைக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. ஆகவே, மறைமுகமான முறைகளையே கையாளவேண்டும். ஒரு நகரும் துகள், ஒரு நிலையான துகள் ஆகிய இரண்டிற்குமிடையே ஏற்படும் நேர்முக மோதலில்தான் (head-on collission) நிலைப் பொருளுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட திசைவேகம் பெரும அளவுடையது. அந்தப் பெரும அளவு திசைவேகம் மோதப்பட்ட பொருள்

செல்லும் திசையில் செயற்படும். நேர்முக மோதலில், உந்தம் மாறுக் கோட்பாடு, இயக்க ஆற்றல் மாறுக் கோட்பாடு ஆகிய வற்றைப் பயன்படுத்தி இந்தப் பெரும அளவு திசைவேகத்திற்கு ஒரு கோவை பெற முடியும். நிறை m_1 திசைவேகம் v கொண்ட ஒரு பொருள் m_2 நிறையுடைய ஒரு நிலையான பொருளுடன் மோதுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். மோதலுக்குப் பிறகு மோதிய பொருளின் திசைவேகம் v_1, மோதப்பட்ட பொருளின் திசைவேகம் v_2 என்றால், ஆற்றல் மாறுக் கோட்பாட்டுப்படி

$$\frac{1}{2} m_1 v^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \qquad \text{—(4)}$$

உந்தம் மாறுக் கோட்பாட்டுப்படி

$$m_1 v = m_1 v_1 + m_2 v_2 \qquad \text{—(5)}$$

இந்த இரண்டு சமன்பாடுகளிலிருந்தும், v_1-ஐ நீக்கிவிட்டால்,

$$v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} V \qquad \text{—(6)}$$

மோதும் பொருள் திசைவேகம் v கொண்ட ஒரு நியூட்ரானா யிருந்தால், மோதப்பட்ட பொருளான பின் உதைப்பு அணுக் கருவின் நிறை m_2, பெரும அளவு திசைவேகம் v_2 ஆகியவை தெரிந்தால் நியூட்ரானின் நிறையான m_1-ஐ சமன்பாடு (6) லிருந்து கணக்கிட முடியும். நியூட்ரான்களின் சரியான வேகம் சாட்விக்குத் தெரியாதாகையால் வேறு முறையை அவர் கையாண்டார். இதே திசைவேகம் v கொண்ட ஒரு நியூட்ரான் m_3 நிறை கொண்ட மூன்றாவது துகளின் மேல் மோதினால், அந்த மூன்றாவது துகளுக்குக் கொடுக்கப்படும் பெரும அளவு திசை வேகம் v_3.

$$v_3 = \frac{2m_1}{m_1 + m_3} V \qquad \text{—(7)}$$

சமன்பாடு (6)-ஐ (7) ஆல் வகுக்க

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{m_1 + m_3}{m_1 + m_2} \qquad \text{—(8)}$$

இதில் m_2, m_3, v_2, v_3 ஆகியவை தெரிந்திருந்தால் நியூட்ரானின் நிறையான m_1-ஐ எளிதில் கணக்கிடலாம். பொலோனியம் α

துகள்களைக்கொண்டு பெரிலியத்தைத் தாக்குவதால் உண்டாகும் நியூட்ரான்களைக் கொண்டு, மெழுகிலிருந்து வெளிப்படுத்தப்படும் ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்களின் பெரும அளவு திசைவேகம் $3 \cdot 3 \times 10^9$ செ.மீ./செகண்டு எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. பெரிலியத்திலிருந்து வரும் இதே நியூட்ரான்களை மோதவிடும் போது உண்டாகும் பின் உதைப்பு நைட்ரஜன் அணுக்கருக்களின் பெரும அளவு திசைவேகம் $4 \cdot 7 \times 10^8$ செ. மீ./செகண்டு. புரோட்டானின் நிறையான m_2, நைட்ரஜன் அணுக்கருவின் நிறையான m_3 ஆகியவற்றை முறையே 1 amu, 14 amu என எடுத்துக்கொண்டு, அவைகளின் திசைவேகங்களை முறையே $v_2 = 3 \cdot 3 \times 10^9$, $v_3 = 4 \cdot 7 \times 10^6$ செ.மீ/செகண்டு என்றும் எடுத்துக் கொண்டால் சமன்பாடு (8) லிருந்து

$$\frac{m_1 + 14}{m_1 + 1} = \frac{3 \cdot 3 \times 10^9}{4 \cdot 7 \times 10^6}$$

$$\therefore m_1 = 1 \cdot 15$$

பெரும அளவு பின் உதைப்பு திசைவேகங்களை அளவிடும்போது ஏற்படும் பிழைகளினால், இந்த மதிப்பு ஒரு தோராய மதிப்பே யாகும். எனினும், நியூட்ரானின் நிறையும் புரோட்டானின் நிறையும் ஏறத்தாழச் சமமானது என்று தெரிகின்றது.

நியூட்ரானின் நிறைக்கு, மேற்கூறியதைவிடச் சரியான மதிப்பை சாட்விக் கீழ்க்காணும் வினையிலிருந்து பெற்றார்.

$${}_5B^{11} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_7N^{14} + {}_0n^1.$$

மோதும் α துகள்கள், (முகிற்கலன் சோதனையிலிருந்து) ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்கள், (புரோட்டானின் பின் உதைப்பு ஆற்றலிலிருந்து) நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் இயக்க ஆற்றல்களிலிருந்து Q-வின் மதிப்பு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. Q மதிப்பிலிருந்தும், B^{11}, He^4, N^{14} ஆகியவற்றின் தெரிந்த அணு நிறைகளிலிருந்தும் நியூட்ரானின் நிறை கணக்கிடப்பட்டது. இம்முறையில் சாட்விக், நியூட்ரானின் நிறை 1·005 amu-யிலிருந்து 1·008 amu வரை உள்ளது எனக் கண்டுபிடித்தார். தற்போது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ள நியூட்ரானின் சரியான நிறை 1·008983 amu ஆகும்.

நியூட்ரான்கள் உண்மையில் உள்ளன என்பதை நிரூபிக்கப் பின்வரும் வினைகளைக் குறிப்பிடலாம்.

$$_{3}Li^{7}, + {}_{2}He^{4} \longrightarrow [{}_{5}B^{11}] \longrightarrow {}_{5}B^{10} + {}_{0}n^{1}.$$

$$_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow [{}_{9}F^{18}] \longrightarrow {}_{19}F^{17} + {}_{0}n^{1}.$$

$$_{11}Na^{23} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow [{}_{13}Al^{27}] \longrightarrow {}_{13}Al^{26} + {}_{0}n^{1}$$

$$_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow [{}_{15}P^{31}] \longrightarrow {}_{15}P^{30} + {}_{0}n^{1}$$

$$_{18}A^{40} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow_{2} [{}_{20}Ca^{44}] \longrightarrow {}_{20}Ca^{43} + {}_{0}n^{1}$$

இந்தச் சமன்பாடுகளை ஆல்ஃபா, புரோட்டான் வினைச் சமன்பாடுகளுடன் ஒப்பிட்டால், N^{14}, Na^{23}, A^{27} போன்ற சில அணுக்கள் α துகளால் தாக்கப்படும்போது ஒரு புரோட்டானையோ அல்லது ஒரு நியூட்ரானையோ வெளிவிடுகிறது என்பது தெரிகிறது. கூட்டு அணுக்கருக்கள்

$\left\{ \text{உதாரணமாக } \left({}_{9}F^{18}\right), \left({}_{13}Al^{27}\right) \left({}_{15}P^{31}\right) \right\}$ மேலே

கூறிய ஏதாவது ஒரு முறையில் சிதைவுறலாம். இரு முறைகளிலும் வெவ்வேறு விளைபொருள்களை அவை கொடுக்கும்.

6. செயற்கைக் கதிரியக்கம்

1934-ம் ஆண்டு, க்யூரி தம்பதிகள், தூண்டுதலால் அணுக்கரு மாற்றமடைந்த பொருள்கள் கதிரியக்கமுள்ளவை எனக் கண்டு பிடித்தது, அணுக்கரு இயற்பியலில் ஒரு புதிய சகாப்தத்தை உண்டாக்கியது எனலாம். இப்படி உண்டாக்கப்பட்ட அணுக் கருவின் செயற்கைக் கதிரியக்கம் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள், அணுக் கருவின் அமைப்பு, தன்மை ஆகியவற்றை விளக்க மிகவும் உதவின. அணுக்கரு வினைகளின்படி சுமார் 1300-க்கும் அதிக மான கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் உண்டாக்கப்பட்டுள்ளன. இந்தச் செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் சிதைவு விதிகளின்படியே தன்னியலாகச் சிதைவுறுகின்றன. இருப்பினும், 'செயற்கைக் கதிரியக்கம்' என்ற சொல், இந்த நியூக்ளைடுகள் சிதைவுறும் தன்மையைவிட அவை உண்டாக்கப்படும் முறைகளையே குறிப்பிடுகின்றன.

கண்டுபிடிப்பு

அணு எடை குறைவான தனிமங்களின் அணுக்கருவில் α துகள்கள் உண்டாக்கும் விளைவுகளை க்யூரித் தம்பதியினர் ஆராய்ந்து கொண்டிருந்தபோது அவர்களால் செயற்கைக் கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஃபோலோனியத்திலிருந்து கிடைக்கும் α துகள்களைக்கொண்டு ஃபோரான், மெக்னிசியம், அலுமினியம் ஆகியவற்றைத் தாக்கும்போது, முன்பே அறியப்பட்டிருந்த (α, p) (α, n) வினைகளில் எதிர்பார்த்தபடி புரோட்டான், நியூட்ரான் ஆகியவை காணப்பட்டன. இவை இரண்டையும் தவிர, பாசிட்ரான் (Positron) எனப்படும் நேர்மின்னூட்டம் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களும் காணப்பட்டன. பாசிட்ரான், எலெக்ட்ரானின் நிறையையும் எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்திற்குச் சமமானதும் ஆனால், எதிர்க்குறி கொண்டதுமான ஓர் அடிப்படைத் துகளாகும். இதை 1932-ம் ஆண்டு, முகிற்கலனில் எடுக்கப்பட்ட காஸ்மிக் கதிர்களின் புகைப்படங்களை ஆராயும் போது கண்டுபிடித்தார்.

க்யூரித் தம்பதிகள் பதிவு செய்த பாசிட்ரான்களின் தோற்று வாய் சரியாக விளங்கவில்லை; பல விளக்கங்கள் கொடுக்கப்பட்டும், அவை முழுதும் தவறாகவே இருந்தன. உதாரணமாக, தாக்குதலில் α துகள் சிதைவுற்று வழக்கமான புரோட்டானுக்குப் பதிலாக ஒரு நியூட்ரானும் ஒரு பாசிட்ரானும் உண்டாகின்றன என்று கருதப்பட்டது. ஆனால், இதற்குப் பிறகு க்யூரித் தம்பதியினர் செய்த பரிசோதனைகளில் குறைந்த அணு எடை கொண்ட தனிமங்களின் இலக்குகள், α துகள்கள் விலக்கப்பட்ட பிறகும் பாசிட்ரான்களைக் கொடுத்துக்கொண்டிருந்தன. இந்தப் பாசிட்ரான்கள் வெளிப்படும் வீதம் பொதுவாகக் கால அளவைப் பொறுத்துக் குறைந்துகொண்டே வந்து முடிவில் சுழியை நெருங்குகிறது. α துகள் 'தோற்றுவாயை நீக்கிய பிறகு உள்ள பாசிட்ரான்கள் வெளிப்படும் வீதத்திற்கும் கால அளவிற்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது இயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளின் β சிதைவில் கிடைக்கும் வரைபடத்தைப் போன்ற ஒரு e-ன் மடி வளைவு கிடைக்கிறது.

ஆகவே, இந்த வினை $A = A_0 e^{-\lambda t}$ என்ற சமன்பாட்டால் சரியாகக் குறிக்கப்படுகிறது. மேலும் ஃபோரான், மெக்னீசியம், அலுமினியம் ஆகிய இலக்குகளுக்கான சிறப்பியல் அரை வாழ்வுக் காலம் முறையே 14 நிமிடம்; 2·5 நிமிடம்; 3·5 நிமிடம் என்பது கணக்கிடப்பட்டது. இதற்குக் க்யூரித் தம்பதியினர், மேலே கொடுக்கப்பட்ட ஒவ்வொரு (α, n) வினையிலும் உண்டாகும் விளைபொருள் அணுக்கரு ஒரு நிலையற்ற நியூக்ளைடு ஆதலால், அது ஒரு பாசிட்ரானை வெளிவிட்டுச் சிதைவுறுகிறது என்று விளக்கம் கூறினர். ஃபோரான், அலுமினியம் ஆகியவை இலக்குகளாக இருக்கும்போது உண்டாகும் அணுக்கரு வினைகள் கீழ்வருமாறு விளக்கப்பட்டன :

(i) $_5B^{10} + {}_2He^4 \longrightarrow [{}_7N^{14}] \longrightarrow {}_7N^{13} + {}_0n^1.$

$_7N^{13} \longrightarrow {}_6C^{13} + {}_1e^0$; T = 14 நிமிடம்.

(ii) $_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \longrightarrow [{}_{15}P^{31}] \longrightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1.$

$_{15}P^{30} \longrightarrow {}_{14}Si^{30}\ {}_1e^0$; T = 3·25 நிமிடம்.

பாசிட்ரானைக் குறிக்க $_1e^0$ அல்லது $^+{}_1e^0$ என்ற குறி பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஏனெனில், இதன் மின்னூட்டம் புரோட்டானுடையதற்குச் சமமாகவும், நிறை எண் சுழியாகவும் உள்ளது

N^{13}-ன் அரைவாழ்வுக் காலம் 10 நிமிடம் என்றும், P^{30}-ன் அரைவாழ்வுக் காலம் 2·5 நிமிடம் என்றும் பின்னர்க் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. க்யூரித் தம்பதிகள் அறிவித்த அளவுகளான முறையே 14 நிமிடம், 3·25 நிமிடம் என்பவை தவறாக உள்ளன. N^{13}, P^{30} ஆகிய நியூக்ளைடுகள் நிலையற்றவையாகும்; ஆனால், அவற்றிலிருந்து பாசிட்ரான் வெளிப்பட்ட பிறகு அவை நிலையான தன்மையை அடைகின்றன.

க்யூரித் தம்பதிகளின் விளக்கத்தைச் சரிபார்க்க விளை பொருள் தனிமத்திலிருந்து இலக்கின் தனிமம் பிரித்தெடுக்கப் பட்டு வேதியியல் முறையில் சோதிக்கப்பட்டது. விளைபொருள் தனிமத்தில்தான் கதிரியக்கம் இருப்பது தெரிந்தது. ஃபோரான் வினையில் இலக்கான ஃபோரான் நைட்ரைடு BN′, பல நிமிடங்கள் α துகள் கதிர்வீச்சுக்கு உட்படுத்தப்பட்ட (irradiated) பிறகு, காஸ்டிக் சோடாவுடன் சூடாக்கப்படும்போது அதிலுள்ள நைட்ரஜன் முழுவதும் அம்மோனியா வாயுவாக வெளிவிடப் படுகிறது. வெளிவிடப்படும் அம்மோனியாவே கதிரியக்கம் முழுவதையும் பெற்றுள்ளது. அதன் அரைவாழ்வுக் காலம் மற்ற ஃபோரான் இலக்குகளிலிருந்து கணக்கிடப்படும் அளவுக்குச் சமமாகவே உள்ளது; மற்ற நைட்ரஜன் இலக்கு களிலிருந்து காணப்படும் அளவைப்போன்று இருக்கவில்லை. ஆகவே, ஃபோரான், கதிரியக்கமுள்ள நைட்ரஜனின் ஒரு ஐசடோப்பாக மாறியிருக்க வேண்டும்.

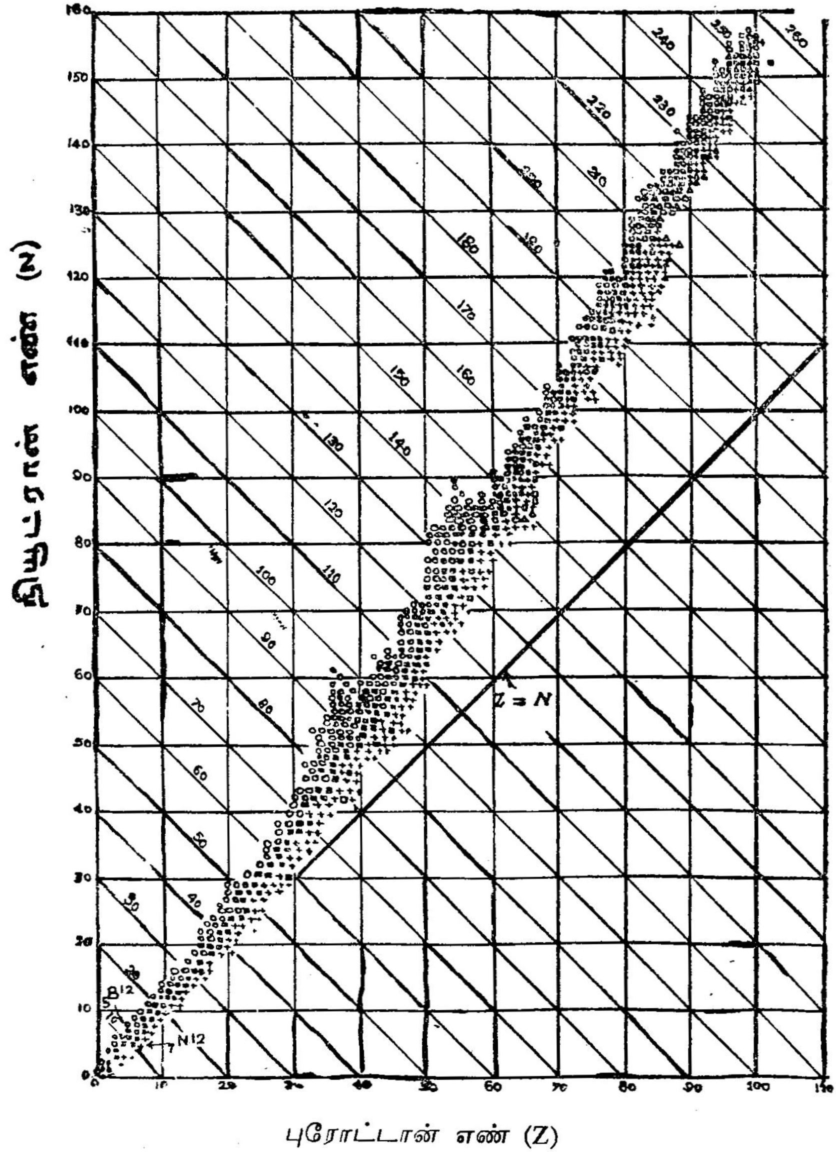
இதே போன்று, ஓர் அலுமினிய இலக்கை α துகள்களின் கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்திய பிறகு ஹைட்ரோகுளோரிக் (hydrochloric) அமிலத்தில் கரையச் செய்தால், அதிலுள்ள ஏதாவது பாஸ்பரஸ் PH_3, பாஸ்பீன் என்ற வாயுவாக வெளிப்படுவதால் அலுமினியம், கரைசலில் பின்தங்கிவிடுகிறது. கரைசலை ஆவியாக்கி, ஈரமற்ற மீதத்தை ஆராய்ந்தால் அதில் எந்த விதப் பாசிட்ரான் செயலூக்கமும் இல்லை என்பது தெரிகிறது. மாறாக பாஸ்பரசைப் பெற்றுள்ள வாயுவில் பாசிட்ரான் செயலூக்கம் (Positron activity) இருந்தது. ஆகவே, பாஸ்பரசின் ஒரு ஐசடோப்பில் இந்தச் செயலூக்கம் இருக்க வேண்டும். இந்தச் சோதனைகளே ஒரு தனிமத்தைச் செயற்கை முறைப்படி இன்னொரு தனிமமாக மாற்ற முடியும் என்பதற்கு முதல் வேதியியல் சான்றுகளாக அமைந்தன. இச் சிதைவு களுக்குப் பயன்படும் சமன்பாடுகள் சரியானவை என்பதை விளைபொருள் அணுக்கருவைக் காண உதவும் வேதியியல் பகுப்பாய்வு, வெளிப்படும் துகள்களின் தன்மையை அறிய

முகிற்கலத்தில் செய்யப்பட்ட அயனியாக்க அளவீடுகள், காந்தப் புலத்தில் உண்டாகும் விலகல் அளவீடுகள் ஆகியவை நிரூபிக்கின்றன.

அணு எடை குறைவான தனிமங்கள் α துகள்களால் தாக்கப்படும்போது, புதிய கதிரியக்கப் பொருள்கள் உண்டாகின்றன என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகு, புரோட்டான், டியூட்ரான், நியூட்ரான், ஃபோட்டான் ஆகியவற்றால் தூண்டப்படும் அணுக்கரு வினைகளாலும் கதிரியக்கப் பொருள்களை உண்டாக்கமுடியும் என்பது கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. இயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளைப் போன்றே செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளையும் அதன் அரைவாழ்வுக் காலம், அதிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு ஆகியவற்றால் பாகுபடுத்த முடியும். அணுக்கரு வினைகளில் உண்டாகும் வினைபொருள்களின் வேதியியல் தன்மைகளைத் தீர்மானிக்க இந்தப் பண்புகள் மிகவும் உதவுகின்றன. வினைபொருள்கள் கதிரியக்கமுள்ளவையாக இருந்தால் அவற்றின் அரைவாழ்வுக் காலம் அல்லது சிதைவுப் பொருள் ஆகியவற்றைக்கொண்டு அவற்றின் தோற்றுவாயைக் கண்டறிய முடியும். அப்படிக் கதிரியக்கமற்றவையாக இருந்தால், அவற்றின் அளவு மிகச் சிறியதாகையால் அவற்றைக் கண்டறிய முடியாது. அவற்றின் வேதியியல் தன்மையை, மறைமுகமான இயற்பியல் சான்றுகளான நிறை, ஆற்றல் சரியீடு (energy balance) போன்றவற்றால்தான் உணரமுடியும். இப்படிப்பட்ட இயல்புகளை விளக்கும் வேதியியல் பிரிவு 'கதிரியக்க வேதியியல்' (radio-active chemistry) எனப் பெயரிடப்பட்டு அது அணுக்கரு அறிவியலில் ஒரு பகுதியாக விளங்குகிறது.

செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள்

நமக்குத் தெரிந்த இயற்கை, செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளின் அமைப்பை, அவற்றின் புரோட்டான் எண்ணிக்கையை X அச்சிலும், அவற்றின் நியூட்ரான் எண்ணிக்கையை Y அச்சிலும் எடுத்துப் படம் 6–1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற ஒரு வரைபடத்தில் காட்டலாம். படத்தில் நிலையான நியூக்ளைடுகள் கறுப்புச் சதுரங்களாகக் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. α துகள்களை வெளிப்படுத்தும் பொருள்கள் அடைக்கப்படாத முக்கோணங்களாகவும் சதுரங்களாகவும் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. அடைக்கப்படாத சதுரங்கள் β கதிர் வெளிப்படாதவை; திறந்த முக்கோணங்கள் β சிதைவு பெறுபவை. எலெக்ட்ரானை வெளிப்



படம் 6—1.

கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளின் விவரப்படம்.

படுத்தும் பொருள்கள் அடைக்கப்படாத வட்டங்களாகவும், பாசிட்ரான்களை வெளிப்படுத்தும் பொருள்கள் × குறிகளாகவும் உள்ளன. அடைக்கப்படாத வட்டத்தினுள் உள்ள × குறி அப் பொருளிலிருந்து β^+ அல்லது β^- வெளிப்பட்டோ அல்லது ஓர் எலெக்ட்ரான் உட்கவரப்பட்டோ ஏற்படும் அப் பொருளின் சிதைவைக் குறிக்கிறது. மூலை விட்டக் கோடுகள் மாறாத நிறை எண் A (= z+n) என்ற கோடுகளாகும். ஒரே மூலைவிட்டக் கோட்டின் மேலுள்ள நியூக்ளைடுகள் ஐசோபார்கள் (Isobar) என்றழைக்கப்படுகின்றன. ஏனெனில், அவற்றின் நிறை எண் கள் சமமாகவும், அதனால் அவற்றின் அணு எடைகள் கிட்டத் தட்ட சமமாகவும் உள்ளன. அனேகமாகப் பெருவாரியான செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் போதிய புரோட்டான்களைப் பெற்றிருக்காமல் அதிக நியூட்ரான்களைப் பெற்று நிலையான பொருள்களுக்கு மேலேயே, அல்லது அதிகமான புரோட்டான் களைப் பெற்று நிலையான பொருள்களுக்குக் கீழேயோ, நிலையற்ற நிலையில் அமைகின்றன. குறைவான புரோட்டான்களைப் பெற்றுள்ள பொருளின் அணுக்கரு அதன் அணுக்கரு மின்னூட்டத்தை அதிகரித்து நிலையான தன்மையை அடையவும், அதிக புரோட்டான்களைக் கொண்ட அணுக்கரு தன் மின்னூட்டத்தைக் குறைத்து நிலையான தன்மையை அடையவும் முயலுகின்றன. அணுக்கரு மின்னூட்டத்தை அதிகரிக்க எலெக்ட்ரானை வெளிவிடுதல் ஒரு முறையாகும். மின்னூட்டத்தைக் குறைக்க பாசிட்ரானை வெளிவிடுதல் ஒரு முறையாகும். ஆகவே, நிலையான ஐசடோப்புகளைவிடக் குறை வான நிறை எண் கொண்ட தனிமத்தின் ஐசடோப்புகளில் பாசிட்ரான் வெளிப்படு நிகழ்ச்சிகளும், அதிக நிறை எண் கொண்ட தனிம ஐசடோப்புகளில் எலெக்ட்ரான் வெளிப்படு நிகழ்ச்சிகளும் நடைபெறுகின்றன.

அணுக்கரு தன்னைச் சுற்றும் ஏதாவதோர் எலெக்ட்ரானைக் கவர்ந்துகொண்டாலும் அதன் மின்னூட்டம் குறைவடையும். எலெக்ட்ரான்களும், அவற்றின் சுழற்சியின் போது பல சமயங் களில் அணுக்கருவை நெருங்குகின்றன. அப்போது அலை இயக்கவியல்படி (wave mechanics) அவை அணுக்கருவை ஊடுருவவும் முடியும். அதிக Z மதிப்புள்ள அணுக்களின் K எலெக்ட்ரான்கள் இப்படிச் செய்யக்கூடியவை. அணுக் கருக்கள் அதிக புரோட்டான் பெற்றவையாயிருந்தால் இந்த K எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவால் கவரக்கூடியவை எனக் கருதப்படுகிறது. K—கூட்டிலுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரான் கவர்ந்து கொள்ளப்பட்டால் அந் நிகழ்ச்சிக்கு K—கவர்தல் (K capture

எனப் பெயர். அரிதாக L எலெக்ட்ரான்களும் கவரப்படு கின்றன. இப்படி K அல்லது L கூட்டில் ஏற்படும் காலி இடத்தை அதற்கு அடுத்த வெளிக்கூட்டிலிருக்கும் ஓர் எலெக்ட் ரான் நிரப்புகிறது. அப்போது உண்டாகும் விளைபொருள் அணுக்கருவின் சிறப்பியல்பு கொண்ட K அல்லது L எக்ஸ் கதிர் வெளிப்படுகிறது. இந்த நிகழ்ச்சியில் மின்னூட்டம் பெற்ற எந்தத் துகளும் வெளிப்படுவதில்லை; எனவே, எக்ஸ் கதிர் வெளிப் படுவதைக் கொண்டுதான் இந்நிகழ்ச்சியைக் காண முடியும்.

சில சமயங்களில் சுழல் பாதையிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களை அணுக்கரு கவர்ந்துகொள்ளும்போது புற அணுக்கரு அமைப்பி லிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன. இந்த எலெக்ட் ரான்களுக்கு ‘ ஆகர் எலெக்ட்ரான்கள் ’ (Auger electrons) என, அவற்றைக் கண்டுபிடித்த ஆகரின் பெயர் இடப்பட்டுள்ளது. அமைப்பில் ஏற்படும் அக—ஒளியின் விளைவினால் இந்த எலெக்ட் ரான்கள் உண்டாகின்றன. உதாரணமாக, ஒரு K எக்ஸ் கதிர் வெளிப்படுதலை, K எக்ஸ் கதிரின் ஆற்றலுக்கும் L எலெக்ட் ரானின் பிணைப்பாற்றலுக்கும் (binding energy) உள்ள மாறுபாட்டு அளவு ஆற்றலை இயக்க ஆற்றலாகக்கொண்ட ஒரு L எலெக்ட்ரானின் வெளியேற்றத்தால் ஈடு செய்யலாம்.

இந்த மூன்று வகைச் சிதைவுகளிலும் அணுக்கருவின் மின் னூட்டம் மட்டும் மாற்றமடைந்து நிறை எண் மாற்றமடை யாமல் இருப்பதால் இவற்றை ‘ஒரே ‘A’ மதிப்புடைய மாற்றங்கள் ’ (isobaric transformation) எனக் கூறலாம்.

இயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் உண்டாவதைப் போன்றே சில செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளும் எலெக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரானை வெளியிடுவதுடன் γ கதிர்களையும் வெளிவிடு கின்றன. செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளில் சுமார் மூன்றில் ஒரு பங்குத் துகள்களை மட்டும் வெளிப்படுத்தும் எளிமையான வகையாகவும் மற்றவை γ கதிர்களை வெளிப்படுத்துபவையாக வும் உள்ளன.

ஒரு செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடு ஓர் எலெக்ட்ரானை அல்லது ஒரு பாசிட்ரானை வெளிப்படுத்தியோ அல்லது சுழல் பாதையிலுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கவர்வதாலோ சிதைவுறு கிறது என்ற நியதி சிதைவிற்குக் கிடைக்கக்கூடிய ஆற்றலைப் பொறுத்துள்ளது. ஓர் எலெக்ட்ரான் வெளிப்படும் சிதைவை

$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z+1}Y^{A} + {}_{-1}e^{0} \qquad \text{—(1)}$$

என்று குறிப்பிடலாம். இதன் ஆற்றல் சரியீடு

$$\frac{Q}{C^{2}} = Mn\left({}_{Z}X^{A}\right) - Mn\left({}_{Z+1}Y^{A}\right) - m \qquad \text{—(2)}$$

ஆகும். இதில் Mn என்பது, செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடு அதன் சிதைவு விளைபொருள் ஆகியவற்றின் அணுக்கரு நிறையை யும், m என்பது எலெக்ட்ரானின் நிறையையும் குறிக்கின்றன. இந்தச் சமன்பாட்டை அணுநிறை சார்பாக

$$Ma\left({}_{Z}X^{A}\right) = Mn\left({}_{Z}X^{A}\right) + Zm$$ என்றும் எழுத லாம். இதில் Ma என்பது அணு நிறையைக் குறிக்கின்றது. எலெக்ட்ரான்களின் பிணைப்பாற்றல் சமன்பாட்டின் இரு பக்கங் களிலும் சேர்க்கப்பட்டு ஈடு செய்யப்படுகின்றன. இப்போது சமன்பாடு (2),

$$\frac{Q}{C^{2}} = Ma\left({}_{Z}X^{A}\right) - Zm - Ma\left({}_{Z+1}Y^{A}\right) + (Z+1)\,m - m$$

$$= Ma\left({}_{Z}X^{A}\right) - Ma\left({}_{Z+1}Y^{A}\right) \qquad \text{—(3)}$$

ஆற்றல் சரியீட்டுப்படி, எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுவதற்கான நிபந்தனைப்படி Q வின் மதிப்பு நேர்க் (positive) குறியுடையதாக இருக்க வேண்டும். அல்லது,

$$Ma\left({}_{Z}X^{A}\right) > Ma\left({}_{Z+1}Y^{A}\right) \qquad \text{—(4)}$$

அதாவது, செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடின் அணு நிறை அதன் அணுக்கரு மின்னூட்டத்தைவிட ஓரலகு அதிக மின்னூட்டம் கொண்ட ஐசோபாரின் அணுநிறையைவிட அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

இதே போன்று ஒரு பாசிட்ரான் வெளிப்படும் சிதைவை

$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z-1}Y^{A} + {}_{1}e^{0} \qquad \text{—(5)}$$

என்றும், இதை ஆற்றல் சார்பாக

$$\frac{Q}{C^2} = Mn\left({}_{z}X^{A}\right) - Mn\left({}_{z\text{-}1}Y^{A}\right) - m$$

$$= Ma\left({}_{z}X^{A}\right) - Zm - Ma\left({}_{z\text{-}1}Y^{A}\right) + (z+1)m - m$$

$$= Ma\left({}_{z}X^{A}\right) - Ma\left({}_{z\text{-}1}Y^{A}\right) - Zm \qquad \text{—(6)}$$

என்றும் எழுதலாம். ஆற்றல் சரியீட்டுப்படி பாசிட்ரான் வெளிப்பட வேண்டிய நிபந்தனைப்படி, செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடின் அணுநிறை அதைவிட அணுக்கரு மின்னூட்டம் ஓரலகு குறைவாக உள்ள அதன் ஐசோபார் பொருளின் அணு நிறையைவிட 2 எலெக்ட்ரான் நிறை அல்லது 1·02 Mev அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

$$Ma\left({}_{z}X^{A}\right) > Ma\left({}_{z+1}Y^{A}\right) + Zm \qquad \text{—(7)}$$

இதுபோலவே, சுழல்பாதை எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவால் கவர்ந்துகொள்ளப்படும் போது,

$${}_{z}X^{A} + {}_{1}e^{0} \longrightarrow {}_{z\text{-}1}Y^{A} \qquad \text{—(8)}$$

$$\frac{Q}{C^2} = Ma\left({}_{z}X^{A}\right) - Ma\left({}_{z\text{-}1}Y^{A}\right) \qquad \text{—(9)}$$

ஆற்றல் சரியீட்டுப்படி, சுழல்பாதை எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவால் கவரப்படுவதற்கான நிபந்தனைப்படி

$$Ma\left({}_{z}X^{A}\right) > Ma\left({}_{z\text{-}1}Y^{A}\right) \qquad \text{—(10)}$$

ஆகும். அதாவது, செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடின் அணு நிறை அதைவிட ஓரலகு குறைவான அணுக்கரு மின்னூட்டம் கொண்ட அதன் ஐசோபார் பொருளின் அணு நிறையைவிட அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

சமன்பாடுகள் (7), (10) ஆகியவற்றை ஒப்பிடும்போது அணுக்கருவால் சுழல் பாதையிலுள்ள எலெக்ட்ரான் கவர்ந்து கொள்ளப்படும் நிகழ்ச்சி, ஒரு பாசிட்ரான் வெளிப்படும் நிகழ்ச்சியைவிட மிகவும் சாதகமானதாகத் தெரிகிறது. ஆனால், ஒரு K எலெக்ட்ரான் கவர்ந்துகொள்ளப்படுவது, அந்த எலெக்ட்ரான்,

அணுக்கருவிற்கு அருகிலோ அல்லது அதற்குள்ளேயோ இருக்கும் சிறிய வாய்ப்பைப் பொறுத்துள்ளது. ஆகவே, கிடைக்கக் கூடிய ஆற்றல் $2mc^2$ மதிப்பைத் தாண்டியவுடன் பாசிட்ரான் வெளிப்படுதல் நிகழ்ச்சி சுழல்பாதை எலெக்ட்ரான் கவர்ந்துகொள்ளப்படுவதைவிட எளிதாக அடிக்கடி நடைபெறுகிறது. ஆகவே, K எலெக்ட்ரான் கவரப்படும் நிகழ்ச்சி சமன்பாடு (10)-ல் கொடுக்கப்படும் நிபந்தனை நிறைவு செய்யப்படும் போதுதான் நிகழ்கிறது; ஆனால், அந்த நிபந்தனை நிறைவு செய்யப்படும் ஒவ்வொரு தடவையும் நிகழ்வதில்லை.

மேலே கூறப்பட்ட விதிகளுக்குப் பல உதாரணங்கள் உள்ளன. Mg^{23}, Al^{25}, Na^{27}, Ne^{19}, F^{17}, O^{15}, N^{13}, C^{11} ஆகிய பல கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் பாசிட்ரான் வெளிப்பட்டே சிதைவுறுகின்றன. இவை ஒவ்வொன்றும் அந்தத் தனிமங்களின் நிலையான ஐசடோப்பின் அணு எண்ணைவிடக் குறைவான அணு எண்ணையே பெற்றுள்ளன. ஆகவே, அவை அதிகமான புரோட்டான்களைப் பெற்றுள்ளன. ஒவ்வொன்றிலும் அதன் கதிரியக்க நியூக்ளைடின் நிறை, சிதைவு விளைபொருளின் நிறையைவிட 2 எலெக்ட்ரான் நிறைக்கும் அதிகமான நிறையையே பெற்றுள்ளன. உதாரணமாக, C^{11}-ன் அணு நிறை 11·014924 amv· B^{11}-ன் அணு நிறை 11·012795 amv. ஆகும். இவற்றின் மாறுபாடு 0·002129 amv. இந்த அளவு 2 எலெக்ட்ரான் நிறையான 0·001098 amv யைவிட அதிகமானது.

கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் C^{14}, N^{16}, F^{20}, Na^{24}, Mg^{27}, Ne^{23}, Al^{28} ஆகியவை எலெக்ட்ரானை வெளிவிட்டுச் சிதைவுறுகின்றன. இந்த ஒவ்வொரு பொருளும் அந்தத் தனிமத்தின் நிலையான ஐசடோப்பைவிட அதிகமான நிறை எண்ணைப் பெற்றுள்ளது. ஆகவே, அவை அதிகமான நியூட்ரான்களைப் பெற்றுள்ளன. அட்டவணை 5—1-லிருந்து இந்த ஒவ்வொரு கதிரியக்க நியூக்ளைடும் அதனதன் சிதைவு விளைபொருளின் நிறையைவிட அதிகமான நிறையைப் பெற்றுள்ளது தெரிகிறது. உதாரணமாக, C^{14}–ன் அணு நிறை 14·0076825 amv. அதன் சிதைவு விளைபொருளான N^{14}-ன் அணு நிறை 14·0075179 amv.

இந்தக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் நிறைக்கு இடையே உள்ள மதிப்பை அணுநிறையாகப் பெற்றுள்ள அயோடின் போன்ற தனிமங்களின் ஐசடோப்புகள் மூன்று வகைச் சிதைவுகளையும் பெற்றுள்ளன. அயோடினுக்கு $_{53}I^{127}$ என்ற

ஒரேயொரு நிலையான ஐசடோப்புதான் உள்ளது. அதில் 53 புரோட்டான்களும் 74 நியூட்ரான்களும் உள்ளன. ஆனால், 68 முதல் 86 வரை நியூட்ரான்களைக்கொண்ட 17 செயற்கைக் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் உள்ளன. இவற்றில் I^{121}, I^{123} ஆகிய இரண்டும் குறைந்த அளவு நியூட்ரான்களைப் பெற்றுள்ளதால், அவை பாசிட்ரானை வெளியிட்டுச் சிதைவுறுகின்றன. I^{123} அணுக்கருச் சுழல் பாதை எலெக்ட்ரானைக் கவர்ந்து சிதைவுறுகிறது. ஆனால், I^{124} அணுக்கரு சில சமயங்களில் சுழல்பாதை எலெக்ட்ரானைக் கவர்ந்தும், சில சமயங்களில் பாசிட்ரானை வெளிப்படுத்தியும் சிதைவுறுகிறது. I^{125} அதன் சுழல்பாதை எலெக்ட்ரானைக் கவர்ந்து சிதைவுறுகிறது. I^{126} சில சமயங்களில் சுழல்பாதை எலெக்ட்ரானைக் கவர்ந்தும் சில சமயங்களில் பாசிட்ரானை வெளிவிட்டும் சிதைவுறுகிறது. I^{127} ஒரு நிலையான ஐசடோப்பு. I^{128} அணுக்கரு 95 சதவீதம் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்திச் சிதைவுறுகிறது; 5 சதவீதம் சுழல்பாதை எலெக்ட்ரானைக் கவர்ந்தோ அல்லது பாசிட்ரானை வெளிப்படுத்தியோ சிதைவுறுகிறது. நியூட்ரான்களை அதிகம் பெற்றுள்ள மீதமுள்ள I^{129} முதல் I^{139} வரையுள்ள 11 ஐசடோப் புகளும் ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்திச் சிதைவுறுகின்றன. சில அயோடின் ஐசடோப்புகளின் விளைபொருள்களுங்கூட கதிரியக்கமுள்ளவை. அவை மேலும் சிதைவுறுகின்றன. I^{123} சிதைவுற்று Xe^{133} ஆக மாறுகிறது. இது மறுபடியும் எலெக்ட்ரானை வெளிவிட்டுச் சிதைவுற்று Cs^{133} என்ற நிலையான ஐசடோப்பாக மாறுகிறது.

ஒரு செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுக்கும் அது உண்டாக் கப்பட்ட உருமாற்ற முறைக்கும் ஒரு தொடர்பு. (α, n), (γ, n), (d, n), (p, n), (p, γ) வினைகளால் உண்டாக்கப்படும் கதிரியக்க நிகழ்ச்சிகளில் பாசிட்ரான் வெளிப்படுவது பொதுவாக உள்ளது. ஏனெனில், அவ் வினைகளில் அணுக்கருவின் மின்னூட்ட - நிறை தகவு அதிகரிக்கின்றது.

உதாரணங்கள் :

$${}_{7}N^{14}\ (\alpha,n)\ {}_{9}F^{17};\ {}_{9}F^{17} \longrightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}e^{0};\ T = 70 \text{ செகண்டு}$$

$${}_{15}P^{31}\ (\gamma,n)\ {}_{15}P^{30};\ {}_{15}P^{30} \longrightarrow {}_{14}S^{30} + {}_{1}e^{0};\ T = 2{\cdot}5 \text{ நிமிடங்கள்.}$$

$${}_{7}N^{14}\ (d,\ n)\ {}_{8}O^{15};\ {}_{8}O^{15} \longrightarrow {}_{7}N^{15} + {}_{1}e^{0};\ T = 2{\cdot}1 \text{ செகண்டு}$$

$_{28}Ni^{58}\,(p,n)\,_{29}Cu^{58};\ _{29}Cu^{58} \longrightarrow {}_{28}Ni^{58} + {}_{1}e^{0};$ T = 2·6 செகண்டு

$_{6}C^{13}\,(p,\gamma)\,_{7}N^{13};\ _{7}N^{13} \longrightarrow {}_{6}C^{13} + {}_{1}e^{0};$ T = 10 நிமிடங்கள்.

(d,p), (n,α), (n,p) (n,γ) வினைகளால் உண்டாக்கப்படும் கதிரியக்கங்களில், இவை மின்னூட்ட-நிறை தகவைக் குறைப்பதால், இவற்றில் எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுதல் பொதுவாக நிகழும். உதாரணங்கள் :-

$_{15}P^{31}\,(d,p)\,_{15}P^{32};\ _{15}P^{32} \longrightarrow {}_{16}S^{32} + {}_{-1}e^{0};$ T = 14·3 நாள்கள்.

$_{13}Al^{27}\,(n,\alpha)\,_{11}Na^{24};\ _{11}Na^{24} \longrightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_{-1}e^{0};$ T = 15 மணி.

$_{7}N^{14}\,(n,p)\,_{6}C^{14};\ _{6}C^{14} \longrightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{-1}e^{0};$ T = 5568 ஆண்டுகள்.

$_{49}In^{115}\,(n,\gamma)\,_{49}In^{116};\ _{49}In^{116} \longrightarrow {}_{50}Sn^{116} + {}_{-1}e^{0};$ T = 13 செகண்டு

(α,p), (p,α), (d,α) வினைகள் பொதுவாக நிலையான வினைபொருள்களைக் கொடுக்கின்றன. மின்னூட்டம், நிறை ஆகியவற்றில் ஏற்படும் மாறுதல்களுக்குப் பிறகு இலக்கு, வினைபொருள் ஆகியவற்றின் அணுக்கருக்கள் இரண்டுமே நிலையான நியூக்ளைடுகளின் பட்டை (Band) களுக்குள் உள்ளன. உதாரணங்கள் :

$N^{14}\,(\alpha,p)\,O^{17},\qquad Al^{27}(\alpha,p)\,Si^{30},$

$F^{19}\,(p,\alpha)\,O^{16},\qquad Al^{27}(p,\alpha)\,Mg^{24},$

$O^{16}\,(d,\alpha)\,N^{14},\qquad Al^{27}(d,\alpha)\,Mg^{25}.$

புற யுரேனியத் தனிமங்கள்

யுரேனியத்தை நியூட்ரான்களைக்கொண்டு தாக்கினால், அணுக்கரு மின்னூட்டம் 92-ஐவிட அதிகமாக உள்ள தனிமங்கள் உண்டாகும் வாய்ப்பு உள்ளதாக 1934-ல் ஃபெர்மி (Fermi) கருதினார். u^{238} ஒரு நியூட்ரானைக் கவர்ந்துகொண்டால் அதனால் கீழ்க்காணும் வினை உண்டாக வேண்டும்.

$$_{92}u^{238} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow [{}_{92}u^{239}] \longrightarrow {}_{92}u^{239} + \gamma$$

இந்த வினையின் வினைபொருளான u^{239} எலெக்ட்ரானை வெளிவிட்டுச் சிதைவுற்றால் அதன் முடிவு (Z = 93 ஆன) ஒரு

நியூக்ளீடு ஆகும். இந்த மாதிரியான ஐசடோப்பு இதுவரை தெரியாத ஒரு தனிமமாகும். நியூட்ரான்களைக்கொண்டு யுரேனியத்தைத் தாக்கும் தொடக்க காலப் பரிசோதனைகளில், நான்கு வகை β நிகழ்ச்சிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அவற்றில் ஒன்று $_{92}u^{239}$ னுடன் சம்பந்தப்பட்டதாக இருந்தது. அணு எண் (Z) 93 ஆகக் கொண்ட புதிய தனிமம் ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளிவிட்டு மேலும் சிதைவடைந்து அணு எண் 94 ஆகக் கொண்ட எல்லாத் தனிமங்களும் புற யுரேனியத் தனிமங்கள் (transuranic elements) என்று அழைக்கப்பட்டன. ஏனெனில், தனிம அட்டவணையில் இவை யுரேனியத்திற்கு அப்பால் இடம் பெற்றன. 1934-லிருந்து 1939 வரை புற யுரேனியத் தனிமங்களை உண்டாக்கி அவற்றை இனமறிய (identify) பல முயற்சிகள் செய்யப்பட்டன. இதன் விளைவாகப் பல தனிமங்கள் உண்டாக்கப்பட்டாலும் அவற்றை இனமறிந்து கொள்வது மிகவும் கடினமாக இருந்தது. இந்த ஆய்வுகளின் பலனாகப் புற யுரேனியத் தனிமங்களின் உற்பத்தியும் சோதனைகளும் வகைப்படுத்தப்பட்டன. இதன் பலனாகவே அணுக்கரு பிளவை (nuclear fission) கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

1940-ம் ஆண்டு, குறைந்த திசைவேகம் உள்ள நியூட்ரான்களைக்கொண்டு யுரேனியத்தைத் தாக்கினால் u^{239} என்ற புதிய ஐசடோப்பு உண்டாக்கப்படுவது நிரூபிக்கப் பட்டது. இந்தப் புதிய ஐசடோப்பு எலெக்ட்ரான்களை வெளிப்படுத்தியது; அதன் அரைவாழ்வுக் காலம் 23 நிமிடம். இது தொடர்ந்து சிதைவுற்று Z = 94 உள்ள புதிய தனிமமாக மாறுகிறது. அதுவும் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்துவதாகவும், அரைவாழ்வுக்காலம் 2·3 நாள்கள் என்றும் காணப்பட்டது. அணு எண் 93 உள்ள தனிமத்திற்கு 'நெப்டூனியம்' (Neptunium, Np) என்ற பெயர் கொடுக்கப்பட்டது. இதன் சிதைவைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

$$_{92}u^{239} \longrightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^{0}\ ; \qquad T = 23 \text{ நிமிடம்.}$$

(b) Np^{239} சிதைவுறுவதால் அணு எண் 94 உள்ள இன்னோர் ஐசடோப்பு உண்டாகிறது. அதற்கு புலூட்டோனியம் (Plutonium, Pu) என்று பெயரிடப்பட்டது.

$$_{93}Np^{239} \longrightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^{0}\ ; \qquad T = 2{\cdot}3 \text{ நாள்கள்}$$

இந்தப் புதிய ஐசடோப்பான புலூட்டோனியம் அணு உலைகளில் மிகுதியாக உற்பத்தி செய்யப்பட்டு, அணுசக்தி அல்லது அணுகுண்டு தயாரிக்கப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

புளூட்டோனியம், T = 24,400 ஆண்டுகள் கொண்ட α கதிரை வெளிப்படுத்தும் தனிமமாகும். நெப்டூனியம் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட உடனேயே, நெப்டூனியத்தின் வேறு இரு ஐசடோப்புகள் உண்டாக்கப்பட்டன. சைக்ளட்ரான்களி லிருந்து வெளிப்படும் அதிவிரைவான டியூட்ரான்களைக் கொண்டு யுரேனியம் ஆக்சைடைத் தாக்கினால்

$$_{92}u^{238} + {}_1H^2 \longrightarrow {}_{93}Np^{238} + {}_0n^1 + {}_0n^1$$

இதன் விளைபொருளான Np^{238} ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளிப் படுத்தி Pu^{238} ஆக மாறுகிறது. Np^{238}-ன் அரைவாழ்வுக்காலம் 2 நாள்கள். அதிவிரைவான நியூட்ரான்களைக்கொண்டு யுரேனியத்தைத் தாக்கினால்

$$_{92}u^{238} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{92}u^{237} + {}_0n^1 + {}_0n^1$$

இதன் விளைபொருளான u^{237}-ன் அரைவாழ்வுக் காலம் 6·8 நாள்கள். இது எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றி Np^{237} ஆக மாறுகிறது. இந்த Np^{237} அரைவாழ்வுக் காலம் $2{\cdot}2 \times 10^6$ ஆண்டுகள் கொண்ட α கதிர் வெளிவிடும் ஐசடோப்பாகும். இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்பட்ட புற யுரேனிய நியூக்ளைடுகளில் இதுதான் அதிக அரைவாழ்வுக் காலமுடையது.

சுமார் 100 Mev ஆற்றல் கொண்ட டியூட்ரான்களைக் கொண்டு யுரேனியத்தைத் தாக்குவதாலும் நெப்டூனியம் ஐசடோப்புகள் உண்டாகின்றன. இவ் வினைகளில் 4 அல்லது 6 அல்லது 9 நியூட்ரான்கள்கூட வெளியேற்றப்படுகின்றன. α துகள்களைப் பயன்படுத்தியும் இதனை உண்டாக்கலாம். u^{243} (d,4n), u^{235} (d,6n), u^{238} (d,9n) ஆகிய வினைகளால் Np^{231} ஐசடோப்பும், u^{235} (d,n), u^{235} (α, p 2n), u^{238} (d,4n) ஆகிய வினைகளால் Np^{236} ஐசடோப்பும், u^{238} (d, 2n), u^{238} (α, p3n) ஆகிய வினைகளால் Np^{238} ஐசடோப்புகளும் உண்டாகின்றன. நிறை எண்கள் 231 லிருந்து 240 வரை உள்ள நெப்டூனியத்தின் பத்து ஐசடோப்புகள் தெரிய வந்துள்ளன.

(c) புளூட்டோனியத்தை (Pu^{239}) நியூட்ரான்களைக்கொண்டு தாக்கினால், அணு எண் 95 கொண்ட தனிமம் அமெரிகியம் (Americium), அணு எண் 96 கொண்ட தனிமம் கியூரியம் (Curium) ஆகியவற்றின் ஐசடோப்புகளை உண்டாக்கலாம்.

$$_{92}u^{238} + {}_2He^4 \longrightarrow ({}_{94}Pu^{242}) \longrightarrow {}_{94}Pu^{241} + n$$

$$_{94}Pu^{241} \longrightarrow {}_{95}Am^{241}$$

(d) Am^{241}-ன் அரைவாழ்வுக் காலம் 14 ஆண்டுகள். இதனை நியூட்ரான் கொண்டு தாக்கினால், கியூரியம் (Z = 96) கிடைக்கிறது.

$$Am^{241} + n \longrightarrow Am^{242} + \gamma$$

$$_{95}Am^{242} \longrightarrow {}_{96}Cm^{242}$$

(e) Am^{241}-ஐ α துகள் கொண்டு தாக்கினால் பெர்க்கிலியம் (Berkelium; Z = 97) கிடைக்கிறது.

$$_{95}Am^{241} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{97}BK^{245}$$

(f) Cm^{242}—ஐ α துகள் கொண்டு தாக்கினால் கலிபோர்னியம் (Californium, Cf; Z=98) கிடைக்கிறது.

$$_{96}Cm^{242} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{98}Cf^{246}$$

(g) u^{238}—ஐ சைக்ளட்ரானிலிருந்து முடுக்கப்பட்ட N^{14} அயனிகளைக்கொண்டு தாக்கினால் ஐன்ஸ்டீனியம் (Einstenium, Es; Z = 99) கிடைக்கிறது.

$$_{92}u^{238} + {}_{7}N^{14} \longrightarrow ({}_{99}Es^{252}) \longrightarrow {}_{99}Es^{247} + n + n + n + n + n.$$

(h) u^{238}—ஐ சைக்ளட்ரானிலிருந்து முடுக்கப்பட்ட ஆக்சிஜன் அயனிகளைக்கொண்டு தாக்கினால் ஃபெர்மியம் (Fermium, Fm; Z = 100) கிடைக்கிறது.

$$_{92}u^{238} + {}_{8}O^{16} \longrightarrow ({}_{100}Fm^{254}) \longrightarrow {}_{100}Fm^{250} + n + n + n + n$$

(i) Es^{253}-ஐ α துகள் கொண்டு தாக்கினால் மெண்டலேவியம் (Mendelevium, Mv; Z = 101) கிடைக்கிறது.

$$_{99}Es^{253} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow ({}_{101}Mv^{257}) \longrightarrow {}_{101}Mv^{256} + n$$

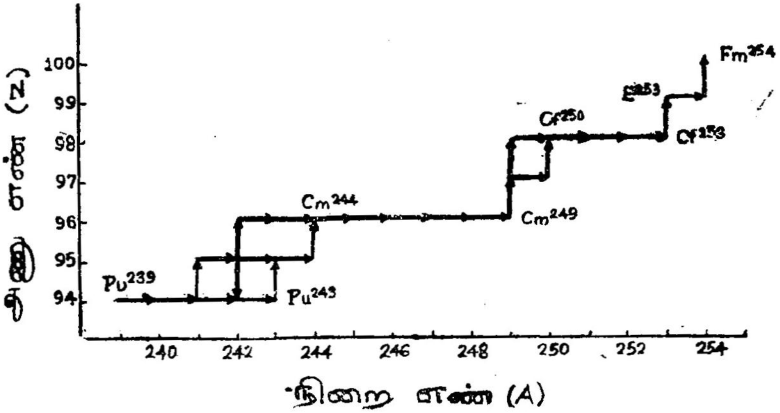
(j) Cm^{244}-ஐ சைக்ளட்ரானிலிருந்து முடுக்கப்பட்ட C^{13} அயனிகளால் தாக்கும்போது நோபிலியம் (Nobelium, No; Z=102) கிடைக்கிறது.

$$_{96}Cm^{244} + {}_{6}C^{13} \longrightarrow ({}_{102}No^{257}) \longrightarrow {}_{102}No^{253} + n + n + n + n$$

(k) Cf^{246}-ஐ அதிக ஆற்றலுள்ள B^{11} அயனிகளால் தாக்கும்போது லாரன்சியம் (Lw, Lawrencium ; Z = 103) கிடைக்கிறது.

$$_{98}Cf^{246} + {}_{5}B^{11} \longrightarrow {}_{103}Lw^{257}$$

மிக அதிகமான நியூட்ரான் பாயம் (neutron flux) அதாவது, 3×10^4 நியூட்ரான்/செ.மீ.^{2}/செகண்டு உள்ள அணு உலையில் Pu^{239} கதிர் வீச்சுக்குட்படுத்தப்பட்டால் சில ஆண்டுகளில் ஏறக்குறைய 15 நியூட்ரான்களை உட்கவரக்கூடிய நியூக்ளைடு உற்பத்தியை உருவாக்க முடியும். நியூட்ரான் கவர்ந்து கொள்ளப்படும் வினைகள் β சிதைவுகள் ஆகியவற்றின் வரிசை முறை படம் 6–2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. அதில் கிடைத்தள அம்புக் குறிகள் நியூட்ரான் கவரப்படுதலையும், செங்குத்து அம்புக் குறிகள் β சிதைவையும் குறிக்கின்றன.

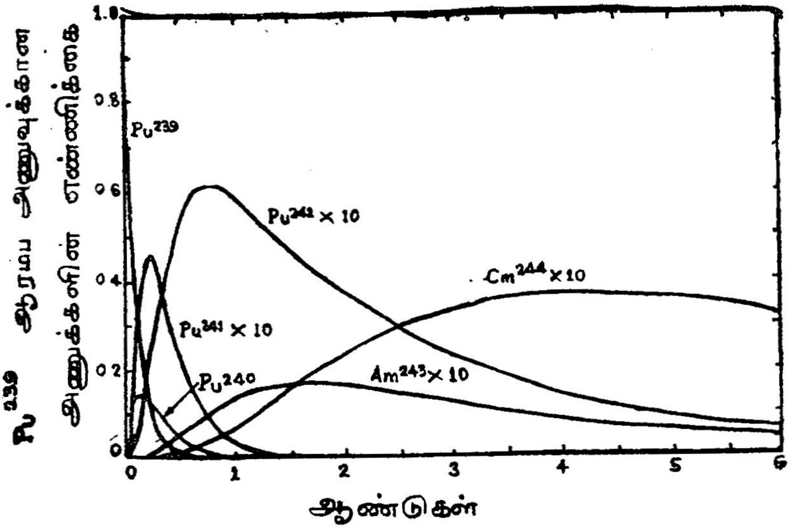


படம் 6—2.

Pu^{239}—ஐ குறைந்த வேகமுள்ள நியூட்ரான்களால் தாக்கும்போது உண்டாகும் நியூக்ளைடுகளின் வரிசை முறை.

அதிக நிறையுள்ள நியூக்ளைடுகள் உண்டாகும் வீதத்தைக் கணக்கியல் ரீதியாக, இயற்கைக் கதிரியக்கத்தின் பேட்மென் சமன்பாடுகளைக்கொண்டு பகுத்தாராய முடியும். நியூட்ரான் பாயம் 3×10^{14} நியூட்ரான்கள்/செ.மீ.^{2}/செகண்டு அளவினுள் கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்தப்பட்ட Pu^{239}-ன் முடிவுகளைப் படம் 6—3 காட்டுகிறது.

புற யுரேனிய நியூக்ளைடுகளைப் பற்றிய ஆய்வுகளால் நெப்டூனியத்திற்கு 10, புளூட்டோனியத்திற்கு 15, அமெரீசியத்திற்கு 10, கியூரியத்திற்கு 13, பெர்க்கிலியத்திற்கு 8, கலிபோர்னியத்



படம் 6 3.

Pu^{239}—ஐ அதிக பாயமுள்ள நியூட்ரான்களால் தாக்கும்போது உண்டாகும் நியூக்ளைடுகள்

திற்கு 11, ஐன்ஸ்டினியத்திற்கு 10, ஃபெர்மியத்திற்கு 8, மென்டேலிவியத்திற்கு 1, நோபிலியத்திற்கு 2 ஐசடோப்புகளும் இனமறியப்பட்டுள்ளன.

செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள்: α துகளை வெளியிடுபவை !

புற யுரேனியத் தனிமங்களின் ஐசடோப்புகள் சில α துகளை வெளிப்படுத்திச் சிதைவுறுகின்றன. 1939-ம் ஆண்டு வரை இயற்கைக் கதிரியக்க வரிசைகளில் அடங்கிய, α துகளை வெளிவிடும் தன்மையுடைய 24 ஐசடோப்புகளே தெரிந்திருந்தன. இப்போது அவற்றின் எண்ணிக்கை 150-ஐத் தாண்டிவிட்டது. இவற்றில் சுமார் 50 வகை புற யுரேனியத் தனிமங்களுள் அடங்குகின்றன மற்றவை 4n+1 அல்லது 'நெப்டூனியம் வரிசை' எனப்படும் ஒரு புதிய வரிசையில் அமைகின்றன. மேலும், உடனொத்த வரிசைகள் (collateral series) எனப்படும் வரிசைகள்

அட்டவணை 6 - I

நெப்டுனியம் வரிசை

நியூக்ளைடு	சிதைவு வகை	அரை வாழ்வு	சிதைவு மாறிலி செகண்டு$^{-1}$	துகளின் ஆற்றல் Mev
$_{94}Pu^{241}$	α, β	13·0 ஆ	1.69×10^{-9}	α : 4·893m; $\beta = 0{\cdot}021$
$_{95}Am^{241}$	α	458 ஆ	$4{\cdot}80\times10^{-11}$	5·535 m
$_{92}U^{237}$	β	6·75 நா	$1{\cdot}19\times10^{-6}$	0·248
$_{93}Np^{237}$		$2{\cdot}20\times10^{6}$ ஆ	$9{\cdot}99\times10^{-16}$	4·870
$_{91}Pa^{233}$	β	27·0 நா	$2{\cdot}97\times10^{-7}$	0·568 m
$_{92}U^{233}$	α	$1{\cdot}62\times10^{5}$ ஆ	$1{\cdot}36\times10^{-13}$	4·816
$_{90}Th^{229}$	α	7340 ஆ	$3{\cdot}0\times10^{-12}$	5·02 m
$_{88}Ra^{225}$	β	14·8 நா	$5{\cdot}42\times10^{-7}$	0·32
$_{89}Ac^{225}$	α	10·0 நா	$8{\cdot}02\times10^{-7}$	5·818 m
$_{87}Fr^{221}$	α	4·8 ம	$2{\cdot}41\times10^{-8}$	6·33 m
$_{85}At^{217}$	α	0·018 செ.	$3{\cdot}85\times10^{1}$	7·05
$_{83}Bi^{213}$	β, α	47 ம	2.46×10^{-4}	α : 5·86; β : 1·39
$_{84}Po^{213}$	α	$4{\cdot}2\times10^{-6}$ செ	1.65×10^{6}	8·35
$_{81}Th^{209}$	β	2·2 ம	$5{\cdot}25\times10^{-3}$	1·99
$_{82}Pb^{209}$	β	3·30 ம	$5{\cdot}84\times10^{-5}$	0·635
$_{83}Bi^{209}$	நிலையானது			

பல உள்ளன. மேலும், பிஸ்மத் (Z=83), போலோனியம் (Z=84), அஸ்டாட்டின் (Z=85), எமனேஷன் (Z=86), ஃபிரான்சியம் (Z=87) ஆகியவற்றின் ஐசடோப்புகள் குறைவான நியூட்ரான்களைப் பெற்றிருந்தால் அவை யாவும் α துகளை வெளிவிடுகின்றன. நெப்டூனியம் வரிசையின் உறுப்பினர்களும், அவற்றின் பண்புகளும் அட்டவணை 6-I-ல் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன.

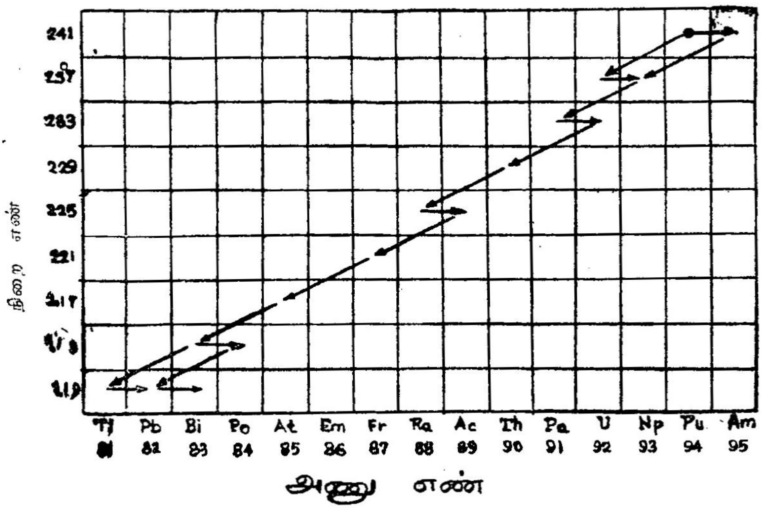
நெப்டூனியம் வரிசையின் உறுப்புகளுக்குள் உள்ள தொடர்பு கள் வரைபடமாக படம் 6·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இயற்கைக் கதிரியக்க வரிசையில் உள்ளதைப் போன்றே, நெப்டூனியம் வரிசையின் முடிவிலும் கிளைச் சிதைவுகள் உள்ளதைப் படம் காட்டுகிறது. இந்த வரிசையின் முடிவான, நிலையான விளைபொருள், நிறை எண் 209 கொண்ட சாதாரண பிஸ்மத் ஆகும். இந்த இறுதிப் பொருள் யுரேனியம், தோரியம், ஆக் டினியம் வரிசைகளின் முடிவுப் பொருளான ஈயத்தினின்றும் மாறுபட்டுள்ளது. இந்த வரிசையில் மிக அதிகமான அரை வாழ்வுக் காலம் ($2{\cdot}2\times10^6$ ஆண்டுகள்) கொண்டது Np^{237}. பூமியின் ஆயுள் 5×10^9 ஆண்டுகள் என்று கருதப்படுகிறது. ஆகவே, பூமி உண்டாகிய காலத்திலேயே நெப்டூனியமும் உண் டானதாகக் கொள்ளப்படுகிறது. இதன் பிறகு இந்த நியூக் ளைடுக்குப் பல அரை வாழ்வுக் காலங்கள் கழிந்துள்ளதால், நாம் கண்டுணர முடியாதபடி நெப்டூனியம் மிகச்சிறிய அளவில் இருக்க முடியும். ஆகவே, இயற்கையில் $4n+1$ வரிசைகள் இருக்க முடி யாது என்று புலப்படுகிறது. அப்படிப்பட்ட வரிசைமுறை எப் போதாவது இருந்திருந்தாலுங்கூட அது வெகுகாலத்திற்கு முன் பாகவே Bi^{209} ஆகச் சிதைவுற்றிருக்கும்.

நெப்டூனியம் வரிசைகளைத்தவிர அதிக அணு எடை உள்ள கதிரியக்க வரிசைகளுடன் உடன் பிணைப்புத் தொடராக (chain collateral) α துகளை வெளிப்படுத்தும் பல பொருள்கள் உண் டாக்கப்பட்டுள்ளன. இந்தத் தொடர்கள் (chains) இயற்கைக் கதிரியக்க வரிசைகளான யுரேனியம் ($4n+2$), தோரியம் ($4n$), ஆக்டினியம் ($4n+3$) ஆகியவற்றையும் செயற்கை வரிசையான நெப்டூனியம் ($4n+1$) வரிசையையும் பெற்றுள்ளது. அப்படிப் பட்ட ஒரு வரிசைக்கு உதாரணமாக 80 Mev ஆற்றலுள்ள டியூட்ரான்களைக்கொண்டு தோரியத்தைத் தாக்குவதால் உண் டாகும் $_{91}Pa^{227}$-ன் சிதைவை எடுத்துக்கொள்ளலாம். உண் டாகும் வினை $Th^{232}(d, 7n)\,Pa^{227}$ ஆகும். Pa^{227} என்ற நியூக்ளைடு பின்கண்ட முறையில் சிதைவுறுகிறது.

$$_{91}Pa^{227} \xrightarrow{\alpha} {}_{89}Ac^{223} \xrightarrow{\alpha} {}_{87}Fr^{219} \xrightarrow{\alpha} {}_{85}At^{215} \xrightarrow{\alpha}$$

$$_{83}Bi^{211} \xrightarrow{\alpha} {}_{81}Tl^{207}\ (AcC'') \xrightarrow{\beta} Pb^{207}$$ (நிலையானது).

இந்த வரிசையை ஆக்டினியம் $(4n+3)$ வரிசையுடன் ஒப்பிட்டால், இந்தப் புதிய வரிசை அதற்கு இணையாகச் செல்வது தெரிகிறது. ஆகவே, இவ் வரிசை உடனொத்த வரிசை எனப்படுகிறது. இன்னொரு வரிசை U^{227} என்பதில் ஆரம்பிக்கிறது. இதுவும் ஆக்டினியம் வரிசையுடன் உடனொத்ததாக உள்ளது. α துகள் அடுத்தடுத்து வெளிப்படுவதால் இந்தத் தொடர் கீழ்க் கண்டவாறு சிதைவுறுகிறது:



படம் 6-4

நெப்டூனியம் (4n + 1) வரிசை

$$U^{227} \longrightarrow Th^{223} \longrightarrow Ra^{219} \longrightarrow Em^{215} \longrightarrow Po^{211} \longrightarrow Pb^{207}.$$

மற்ற உடனொத்த வரிசைகளாவன:

$Pa^{226} \longrightarrow Ac^{222} \longrightarrow Fr^{218} \longrightarrow At^{214}$ $(4n+2$ வகை)

$Pa^{228} \longrightarrow Ac^{224} \longrightarrow Fr^{220} \longrightarrow At^{216}$ $(4n$ வகை)

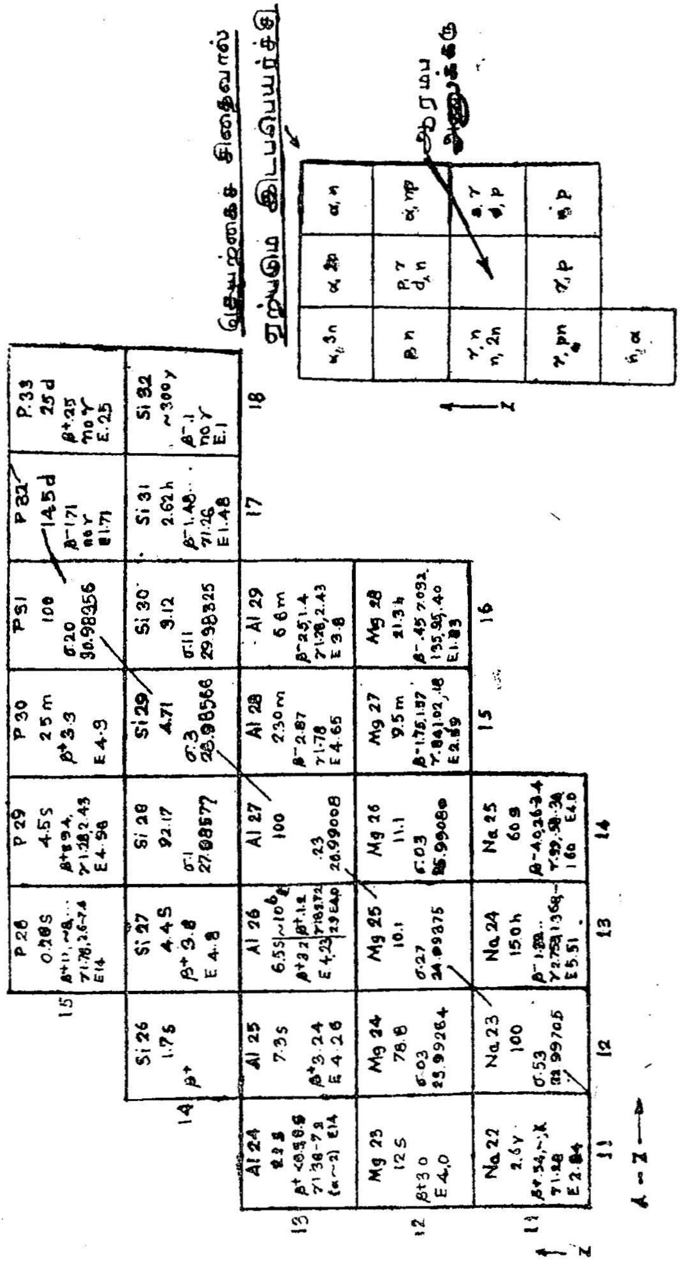
$U^{228} \longrightarrow Th^{224} \longrightarrow Ra^{220} \longrightarrow Em^{216}$ $(4n$ வகை)

$U^{229} \longrightarrow Th^{225} \longrightarrow Ra^{221} \longrightarrow Em^{217}$ $(4n+1$ வகை)

நியூக்ளைடு விவர விளக்கப்படம்

பல்வேறு அணுக்கருக்களைப் பற்றியும் பல விவரங்களையும் தெரிந்துகொள்ளப் படம் 6-5-ல் காட்டியுள்ளது போன்ற நியூக்ளைடு விவர விளக்கப்படங்களைப் (nuclide charts) பார்க்க வேண்டும். காட்டியுள்ள விவர விளக்கப் படத்தில் அணு எண் (Z), தனிமத்திலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையான (A—Z) ஆகியவை வரைபடமாகக் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு நியூக்ளைடும் ஒரு சதுரத்தை அடைக்கிறது; ஒவ்வொன்றும் நிலையாக உள்ளது. இயற்கை மற்றும் செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகள் அவற்றின் சதுரங்களை வெவ்வேறு விதமாகக் கோடிட்டிருப்பதன் மூலம் வேறுபடுத்திக் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு தனிமத்தின் அடையாளமும் அதன் நிறை எண்ணும், அதன் நிலையான ஐசடோப்புகளும், அரை வாழ்வுக் காலம், சிதைவு வகைகள், வெளிப்படுத்தப்படும் துகள்களின் ஆற்றல் ஆகியவைகளும், γ கதிர்களின் ஆற்றல்களும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. வேறு சில நியூக்ளைடு விவர விளக்கப் படங்களில் அணு நிறை, அணுக்கருச் சுழற்சி, காந்தத் திருப்புதிறன் ஆகியவையும் காட்டப்பட்டிருக்கும். சில சமயங்களில் ஒரே கிடைத்தளக் கோட்டின் மேலமைந்த எல்லா நியூக்ளைடுகளும் ஒரே அணு எண் பெற்றவையாக இருக்கும். ஒரே நிறை எண் கொண்ட அணுக்கருக்கள் படத்தின் மேல் இடப்புறத்திலிருந்து கீழ் வலப்புறத்திற்கு 45°-ல் வரையப்படும் மூலைவிட்டத்தின்மேல் அமைகின்றன. படம் 6–5-ல் இந்த வகை காட்டப்பட்டுள்ளது.

நியூக்ளைடு விவர விளக்கப்படம் செயற்கை அணுக்கருச் சிதைவின் விளைபொருள்களை விரைவாகக் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுகின்றன. படம் 6–5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்று மின்னூட்டம், நிறை ஆகியவற்றின் இடப்பெயர்ச்சிகள் படத்தின் வலப்புறத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் வழக்கமாகக் காட்டப்படுகின்றன. படத்திலிருந்து Al^{27}-ன் மேல் ஏற்படும் ஒரு (α, n) வினையால் உண்டாகும் விளைபொருள் P^{30} எனத் தெரிகிறது. இந்த P^{30}, அரை வாழ்வுக் காலம் 2·5 நிமிடம் கொண்ட பாசிட்ரானை வெளிப்படுத்தக்கூடிய பொருள். வெளிப்படுத்தப்படும் மிக விரைவான பாசிட்ரானின் ஆற்றல் 3·3 Mev என்பதையும் γ கதிர்கள் வெளிப்படுவதில்லை என்பதையும் படம் காட்டுகிறது. இதே போல, Al^{27}-ன் மேல் ஏற்படும் ஒரு (α, p) வினையின் விளைவு Al^{28} என்ற உண்மையும் அதன் அரைவாழ்வுக் காலம் 2·3 நிமிடம், அதில் அதிக அளவு ஆற்றல் (2·87 Mev) கொண்ட எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன. அப்போது 1·78 Mev



படம் 6–3.
நியூக்ளைடு இடைநிலை விளக்க வரைபடம்

ஆற்றல் கொண்ட γ கதிர்களும் வெளிப்படுகின்றன என்ற உண்மைகளும் படத்திலிருந்து தெரிகின்றன. படம் 6—5-ல் உள்ள சதுரக் கட்டங்களில் படம் தெளிவாக இருப்பதற்காகத் தேவையான தகவல்கள் மட்டுமே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. ஆனால், பொதுவாக இன்னும் அதிகத் தகவல்கள் கொடுக்கப்பட வேண்டும்.

7. ஆல்ஃபாத் துகள்களும் அவற்றின் சிதைவும்

கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதிலிருந்தே கதிரியக்கப் பொருள்களின் கதிர்வீச்சுகள் ஆராயப்பட்டன. யுரேனியம், தோரியம், ஆக்டினியம் ஆகியவற்றின் வரிசையான உருமாற்றங் களின்போது உண்டாகும் கதிர்வீச்சுகள் ஆராயப்பட்டன. இந்தக் கதிர்வீச்சுகள் அணுக் கருக்களைப் பற்றிய தகவல்களையும் உருமாற்றத்தின்போது ஏற்படும் ஆற்றல் மாறுபாடு பற்றிய தகவல்களையும் கொடுக்கின்றன. இயற்கைக் கதிரியக்க நியூக் ளைடுகளிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சுகளின் ஆற்றலைச் சரி யாக அளவிட்டதால் 'அணு ஆற்றல் நிலைகள்' இருப்பதுபோல 'அணுக்கரு ஆற்றல் நிலைகள்' இருக்கவேண்டும் எனத் தெரிந் தது. அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களைப் பற்றிய தகவல்கள் கிடைத்தன.

திசைவேகமும், ஆற்றலும்

α துகள்களின் திசைவேகமும், ஆற்றலும் மிகத் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்டதால்தான், அவற்றின் ஆற்றல்கள் மிகச்சிறிய அளவில் மாறுபட்டு, சில கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளிலிருந்து α துகள்களின் ஆற்றல் நிறமாலை வெளிப்படுகிறது என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. α துகள் நிறமாலைக் கூறுகளின் ஆற்றல்களை அறிந்து அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள் நிர்ணயிக் கப்படுகின்றன. α துகள்களின் ஆற்றலைக் கண்டுபிடிக்கும் முறைகளே புரோட்டான், டியூட்ரான் ஆகியவற்றின் ஆற்றல் களையும் காணக் கையாளப்படுகின்றன. இந்த மூன்று மின் னூட்டத் துகள்களும் பல செயற்கைக் கதிரியக்கச் சிதைவு களில் பங்கு பெறுகின்றன. இவற்றின் ஆற்றல்கள் சரியாகக் கணக்கிடப்பட்டால், அவற்றின் Q மதிப்புகள் சரியாகக் கிடைக் கும். Q மதிப்பிலிருந்து அணுக்கரு நிறைகளும், அணுக்கருவின் ஆற்றல் மட்டங்களும் கிடைக்கின்றன. α துகள்களின் ஆற்றல் களின் துல்லியமான அளவைக்கொண்டுதான் α சிதைவை ஆராய முடியும். ஆகவே, α துகள்களின் ஆற்றலைக் கண்டு பிடிப்பது மிக முக்கியமாகிறது.

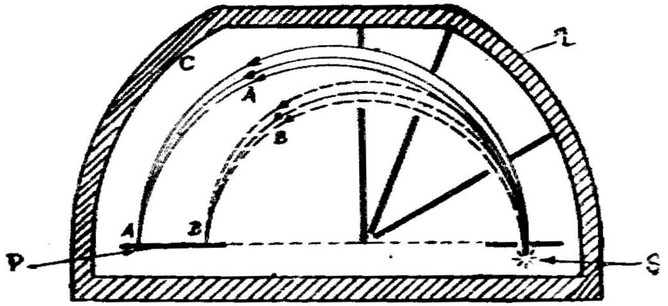
α துகள்களின் திசைவேகம், ஆற்றல் ஆகியவற்றின் மிகச் சரியான அளவுகளைக் காணும் முறை, அத் துகள்களின் பாதை காந்தப்புலங்களில் பெறும் விலகலை அளவிடும் முறையேயாகும். மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு துகள் ஒரு காந்தப்புலத்தினுள் செல்லும்போது அதன் பாதை ஒரு வட்டப் பாதையாக அமைகிறது. அந்த வட்டத்தின் ஆரம் r,

$$Hqv = \frac{Mv^2}{r}$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கிடைக்கிறது. இதில் H என்பது காந்தப்புலத்தின் வலிமையையும், q என்பது துகளின் மின்னூட்டத்தையும், M என்பது துகளின் நிறையையும் குறிக்கின்றன. இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$v = \frac{q}{M} Hr$$

என்று கிடைக்கிறது. இதில் q/M-ன் மதிப்பு வேறு பரிசோதனைகளிலிருந்து தெரியும்; எனவே, தெரிந்த H-ன் மதிப்புடன் r அளக்கப்பட்டு, துகளின் திசைவேகம் v கணக்கிடப்படுகிறது.



படம் 7-1

α துகள்களை ஆராயும் காந்த நிறமாலை வரைவியின் அமைப்பு

L—லூசைட்; S—தோற்றுவாய்; P—புகைப்படத் தட்டு; C—கலத்தின் சுவர்

இந்தத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் அமைக்கப்பட்ட கருவியின் அமைப்பு படம் 7-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு சிறிய இடைவெளியின் வழியாகக் கதிரியக்கத் தோற்றுவாயிலிருந்து α துகள்கள் வெளிப்படுகின்றன. படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தான திசையில், வலிமை தெரிந்த ஒரு காந்தப்புலம் செயற்படுகிறது. இதனால், α துகள்களின் பாதை 180° வளைக்கப்படுகிறது. கலத்தின் சுவர், அடித்தளம், உச்சி ஆகிய

வற்றில் α துகள்களுக்கு ஏற்படும் சிதறலைக் கலத்தின் இடை வெளிகள் குறைக்கின்றன. ஒரே அளவு திசைவேகம் கொண்ட துகள்கள், ஒரே ஆரம் கொண்ட அரைவட்டப் பாதைகளில் செல்கின்றன. அவற்றை ஒரு புகைப்படத் தட்டில் பதிவு செய்யலாம்; அல்லது துகள் எண்ணிகளால் கண்டுணர முடியும். வட்டப் பாதையின் ஆரத்தை அளக்க முடியும். படத்தில் வெவ்வேறு திசைவேகங்கள் கொண்ட துகள்களின் இரு தொகுப்புகளின் பாதைகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. இம் மாதிரிக் கருவிகளில் α துகள்களின் பாதைகள் 40 அல்லது 50 செ.மீ. ஆரமுள்ள வட்டப் பாதைகளாக வளைக்கப்படுகின்றன. இக் கருவி 'காந்த நிறமாலை வரைவி' (magnetic spectrograph) எனப்படுகிறது.

காந்தப்புலமான H-ஐ காஸ் (gauss), r-ஐ செ.மீ., q/M-ஐ emv/கிராம் என்ற அலகுகளில் குறிப்பிட்டால் துகளின் திசை வேகம் செ.மீ./செகண்டு என்ற அலகில் கிடைக்கும். மின்னூட்டம் q என்பது emu அலகில் இருக்கும்.

$$q = \frac{2 \times 4{\cdot}8029 \times 10^{-10}}{2{\cdot}9979 \times 10^{10}}$$
$$= 3{\cdot}2043 \times 10^{-20} \text{emu}$$

ஆல்ஃபாத் துகளின் நிறை, ஹீலியத்தின் அணு எடையிலிருந்து இரு எலெக்ட்ரான் நிறையைக் கழித்துக் கிடைக்கும் அளவுக்குச் சமமாக உள்ளது. அதாவது,

$$M = 4{\cdot}003873 - 0{\cdot}001098 = 4{\cdot}00278 \text{ amu}$$

$$= 4{\cdot}00278 \times 1{\cdot}6596 \times 10^{-24} = 6{\cdot}6430 \times 10^{-24} \text{ கிராம்.}$$

ஆகவே, $\frac{q}{M} = 4823{\cdot}5$ emu/கிராம்

எனவே, $V = 4823{\cdot}5\ Hr.$

இயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளின் α துகள்களுக்குப் பயன்படுத்தப்படும் காந்தப்புலம் 10,000 காஸ் அளவிலும் Hr-ன் மதிப்புகள் 300,000 முதல் 500,000 வரை காஸ்-செ.மீ. அளவிலும் இருக்கும். இந்த முறையில் வசதியாக அளக்கப் படும் திசைவேகங்கள் $1{\cdot}6 \times 10^9$ செ.மீ./செ. முதல் $2{\cdot}2 \times 10^9$ செ.மீ./செ. அளவுவரை இருக்கும். இந்தத் திசைவேகங்களில்

அட்டவணை 7-I

காந்தப் புல விலக்கல் முறையில் கணக்கிடப்பட்ட α துகள்களின் திசைவேகங்களும், ஆற்றல்களும்

கதிரியக்க நியூக்ளைடு	காந்தப்புல விலக்கம் காஸ்-செமீ $\times 10^{-5}$	திசைவேகம் செ.மீ./செ. $\times 10^{-9}$	ஆற்றல் Mev.
AcC(Bi^{211})	3·7067 ± 0·003	1·7846	6·620 ± 0·013
ThC(Bi^{212})	3·54232 ± 0·008	1·7056	6·0466 ± 0·0027
RaF(Po^{210})	3·31649 ± 0·0008	1·5972	5·3007 ± 0·0026
ThC′ (Po^{212})	4·26934 ± 0·0009	2·0514	8·7801 ± 0·004
Tn(Em^{220})	3·6108 ± 0·0003	1·7373	6·2823 ± 0·0013
Rn(Em^{222})	3·37401 ± 0·0002	1·6247	5·4861 ± 0·0007
ThX(Ra^{224})	3·4336 ± 0·0003	1·6533	5·6814 ± 0·0011
Ra(Ra^{226})	3·1490 ± 0·0016	1·5167	4·779 ± 0·005
RdTh(Th^{228})	3·3544 ± 0·001	1·6514	5·4226 ± 0·003
Io(Th^{230})	3·118 ± 0·003	1·5018	4·685 ± 0·001

சார்பு கொள்கைப்படி நிறையின் திருத்தம் (relativistic mass correction) மிகச் சிறியதாகையால் அதைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்வதில்லை. ஆகவே, துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2}Mv^2$-க்குச் சமம் என்று எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது.

$$E = \tfrac{1}{2}Mv^2 = \tfrac{1}{2} \times 6{\cdot}643 \times 10^{-24}\, v^2 \text{ எர்க்}$$

$$= 2{\cdot}074 \times 10^{-18}\, v^2 \text{ Mev.}$$

அளவீடுகள் மிகத் துல்லியமாக வேண்டுமென்றால், நிறைக்குத் திருத்தம் செய்ய வேண்டும். அப்போது

$$V = Hr\,\frac{Q}{M_0}\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

$$T = M_0C^2\left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1\right)$$

என்ற சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்த வேண்டும். இங்கு T என்பது சார்பு கொள்கைப்படி அமையும் இயக்க ஆற்றலாகும். α துகள்களை வெளிவிடும் ரேடியோ நியூக்ளைடுகள் சிலவும், அவற்றிலிருந்து கிடைத்த சில முடிவுகளும் அட்டவணை 7 - I-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

காந்தப்புல விலக்க முறைகள் மிகவும் சரியான மதிப்புகளைக் கொடுத்தாலும், அம் முறைகள் மிக அதிகமான α துகள்களைக் கொடுக்கும் கதிரியக்கத் தோற்றுவாய்களையே பயன்படுத்த முடியும். ஆகவே, அம் முறைகளை U^{238}, U^{235}, Th^{23} போன்றவற்றிற்குக் கையாள முடியாது.

நெடுக்கம்

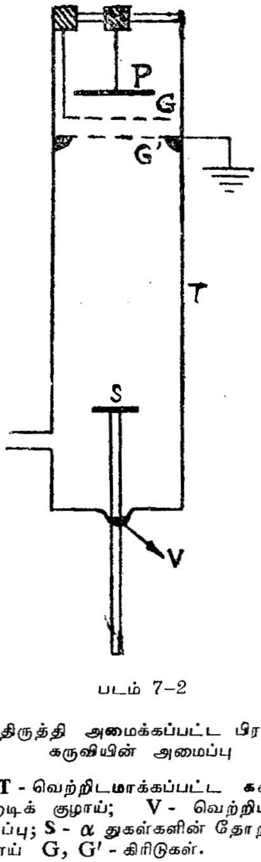
α துகள்கள் போன்ற மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களின் ஆற்றல்களை, அத் துகள்கள் பொருள்களால் உட்கவரப்படும் அளவைக் காண்பதன் மூலம் நிர்ணயிக்கலாம். α துகள்கள் எளிதில் உட்கவரப்படுகின்றன. கதிரியக்கச் சிதைவு களிலிருந்து வரும் துகள்கள், காகிதத்தாள் அல்லது 0·004 செ.மீ. தடிப்புள்ள அலுமினியத் தாள் (foil) அல்லது பல செ.மீ. நீளமுள்ள காற்று ஆகியவற்றால் பொதுவாக உட் கவரப்படுகின்றன. காற்றில், ஒரு கதிரியக்கப் பொருளி லிருந்து வெளிப்படும் α துகள்களின் எண்ணிக்கையை அப்

பொருள்களிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தூரமான *R* வரை, ஒரு துத்தநாக சல்ஃபைடு திரையில் அவை உண்டாக்கும் சுடர்களைக் கொண்டு கணக்கிட்டால் அவை அந்தக் குறிப்பிட்ட தூரம் வரை ஒரு மாறிலியாக உள்ளன. இந்தத் தூரம் தாண்டியபிறகு சுடர்களின் எண்ணிக்கை விரைவாகக் குறைந்து சுழியாகிறது. இந்த *R* என்ற எல்லைக்குத் துகள்களின் நெடுக்கம் (range) என்று பெயர். இந்தத் தொலைவு, துகள்களின் தொடக்க நிலை ஆற்றலைப் பொறுத்தது. அளக்கப்பட்ட நெடுக்கங்களையும் காந்தப் புலத்தினுள் ஏற்படும் விலக்கல் முறையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஆற்றல்களையும் வரைபடத்தில் குறிப்பிட்டு, கிடைக்கும் நெடுக்கம்-ஆற்றல் வளைகோட்டிலிருந்து துகள்களின் அளவிடப்பட்ட நெடுக்கங்களை வைத்துக்கொண்டு அத் துகள்களின் ஆற்றலைக் கணக்கிடலாம். துகள்களின் நெடுக்கங்களை அளவிடுவது எளிதாகவும், சிக்கனமானதாகவும் உள்ளதால் இம் முறையே மிகுதியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

ஒரு α துகள் ஒரு வாயுவின் வழியாகச் செல்லும்போது, வாயுவின் கூறுகளை அயனியாக்குவதால், அதன் ஆற்றல் வாயுவின் அயனியாக்க மின்னழுத்தத்தைவிடக் குறைவாக அமையும்வரை குறைகிறது; அதன் பிறகு வெளியிலிருந்து இரண்டு எலெக்ட்ரான்களைக் கவர்ந்து, α துகள் ஒரு நடுநிலையான ஹீலியம் அணுவாக மாறுகிறது. இவ்வாறு W.H. பிராக் (Bragg) கருதினர். இம்மாதிரி வாயுவினுள் α துகள் கடக்கும் தொலைவே அதன் நெடுக்கம் ஆகும். இந்த நெடுக்கம் α துகளின் தொடக்க ஆற்றல், வாயுவின் அயனியாக்க மின்னழுத்தம், வாயுவின் அழுத்தம், தன்மை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது. திட, திரவப் பொருள்களில் மூலக்கூறுகள் நெருக்கமாக உள்ளதால், அவற்றில் α துகள்களின் நெடுக்கம் மிகவும் குறைவாகவே இருக்கும்.

வாயுவின் வெவ்வேறு அழுத்தங்களில் α துகளின் நெடுக்கத்தைக் காணப் பயன்படும் 'பிராக் கருவி'யின் (Bragg's apparatus) திருத்தப்பட்ட அமைப்பு படம் 7-2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. α துகளின் தோற்றுவாய் S என்ற மேடையின் மேல் வைக்கப்படுகிறது. இந்த மேடையைத் தாங்கும் தண்டு T என்ற சுமார் ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள வெற்றிடக் கண்ணுடிக் குழாயினுள் ஒரு வெற்றிடத் தடைக்காப்பின் (vaccum seal) வழியாக மேலும் கீழும் நகர்த்தப்படுவதால் S-ன் நிலையை மாற்றலாம். கண்ணுடிக் குழாயினுள் தேவைப்படும் வாயு தேவைப்படும் அழுத்தத்தில் நிரப்பப்படுகிறது. இந்த அழுத்தம் ஓர்

அழுத்தமானியால் (Manometer) அளவிடப்படுகிறது. கதிரியக்கத் தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிப்படும் α துகள்களால் உண்டாக்கப்பட்ட அயனியாக்கம், படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள சிறுதிறமான அயனிக் கலத்தினுல் அது S-லிருந்து வெவ்வெறு தொலேவுகளில் இருக்கும்போது அளவிடப்படுகிறது. அயனிக் கலம் P என்ற தட்டையும் G என்ற கிரிடையும் பெற்றுள்ளது. இந்த இரு மின்வாய்களுக்கிடையே நிலேநிறுத்தப்பட்டுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு α துகளே எந்த வகையிலும் பாதிக்காமல், அயனிக்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள எலெக்ட்ராமீட்டர், கலத்தினுள் உள்ள தெவிட்டிய அயனியாக்க மின்னேட்டத்தை அளவிடுவதை உறுதிப்படுத்துகிறது. இரண்டாவது கிரிடான G′ கலத்தினுள் உள்ள அயனிகளின் விரவலேத் தடை செய்கிறது. கலத்தின் ஆழம், SG′-ன் தூரத்துடன் ஒப்பிடும் போது மிகச் சிறியதாகையால், α துகள்களால் அவற்றின் நெடுக்கத்தின் முடிவில் உண்டாக்கப்படும் அயனியாக்கம் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. பரிசோதனைப் படி, நெடுக்கம் வாயுவின் அடர்த்திக்கு எதிர்விகிதத்தில் அதாவது வாயுவின் ஒத்த அழுத்தத்திற்கு எதிர்விகிதத்தில் உள்ளது என்பது உறுதிப்படுத்தப்பட்டது. வழக்கமாக 760 மி.மீ. அழுத்தத்திலும் 288°K வெப்பநிலேயிலுமுள்ள ஈரமற்ற காற்று, α துகளின் நெடுக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்க ஒரு படித்தரப் பொருளாகக்கையாளப்படுகிறது



படம் 7–2

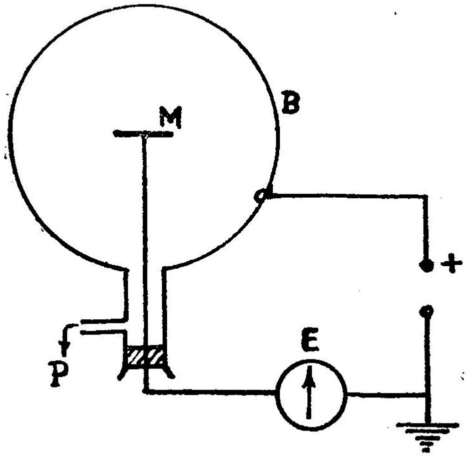
திருத்தி அமைக்கப்பட்ட பிராக் கருவியின் அமைப்பு

T - வெற்றிடமாக்கப்பட்ட கண்ணுடிக் குழாய்; **V** - வெற்றிடக் காப்பு; **S** - α துகள்களின் தோற்றுவாய் **G, G′** - கிரிடுகள்.

ஒரே ஆற்றலுள்ள α துகள்களின் வேகம் v என்ருல் பரிசோதனை முடிவுப்படி $v^3 \propto R$ என்ற விதியைக் கைகர்

கூறினர். இங்கு R என்பது காற்றில் α துகள்களின் நெடுக்க மாகும்.

α துகள்களின் தோற்றுவாய் வலிமையற்றதாக இருந்தால், வாயுக்களில் α துகள்களின் நெடுக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்க 'கைகர்-நட்டல் முறை' (Geiger-Nuttal Method) பயன் படுத்தப்படுகிறது. இதற்குப் பயன்படும் கருவியின் அமைப்பு படம் 7—3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. M என்ற உலோகத் தகட்டின் மேல் α துகளின் தோற்றுவாய் ஒரு மெல்லிய



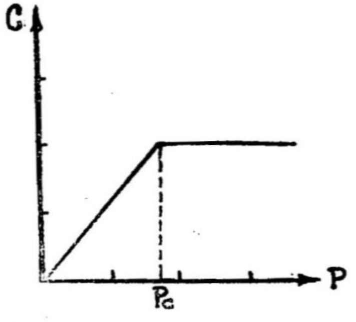
படம் 7-3

α துகள்களின் நெடுக்கத்தைக் காணும் கைகர்–நட்டல் முறை
M—தோற்றுவாய் வைக்கப்படும் தட்டு ; B—கண்ணாடி பல்பு ;
E—எலெக்ட்ராமீட்டர்.

படலமாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. கோளகக் கண்ணாடிக் குமிழான B-யின் மையத்தில் M பொருத்தப்பட்டுள்ளது. B-யின் விட்டம் சுமார் 16 செ.மீ. ஆகும். அதன் உட்புறம் வெள்ளிப் பூச்சுப் பெற்றுள்ளது. இந்த வெள்ளிப் பூச்சிற்கும் M என்ற உலோகத் தகட்டிற்கும் இடையில் ஒரு மின்னழுத்த வேறு பாட்டை உண்டாக்கினல், M-லுள்ள தோற்றுவாயிலிருந்து வரும் α துகள்கள் B-யிலுள்ள வாயுவின் வழியாகச் செல்வதால், குமிழினுள் தெவிட்டிய அயனியாக்க மின்னோட்டம் உண்டா கிறது. இந்த மின்னோட்டத்தை இணைப்பிலுள்ள எலெக்ட்ரா

மீட்டர் அளவிடுகிறது. குமிழினுள் வாயுவைத் தேவையான அழுத்தத்தில் செலுத்த முடியும்.

எலெக்ட்ராமீட்டர் காட்டும் மின்னோட்டத்தையும் வாயுவின் அழுத்தமான P-யையும் வரைபடமாகக் குறிப்பிட்டால் படம் 7-4-ல் காட்டப்பட்டுள்ள வளைகோடு கிடைக்கிறது. முதலில் அயனியாக்க அழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் அதிகரிக்கிறது; ஏனெனில், வாயுவின் அடர்த்தி அதிகரிக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட மாறுநிலை அழுத்தமான Pc-யில், α துகள்கள் குமிழின் உட்பரப் பின் மேலேயே நிறுத்தப்படும்படியாக வாயுவின் அடர்த்தி அமைகிறது. அப்போது அவை குமிழை அடைவதற்கு முன்பாகவே முடிந்தவரை பெரும அளவு அயனியாக்கத்தை உண்டாக்கிவிட்டன. அழுத்தத்தை Pc-ஐ விட அதிகமாக்கினால் மின்னோட்டம் அதிகரிப்பதில்லை; ஏனெனில், குமிழிலிருந்து வெகு தொலைவிலேயே α துகள்கள் நின்றுவிடுகின்றன. ஆகவே, Pc-யில் உண்டாக்கப்பட்ட அதே அளவு அயனிகளே அதிக அழுத்தத்திலும் உண்டாக்கப்படுகின்றன. ஆகவே, குமிழின் ஆரமே, வாயுவின் மாறுநிலை, அழுத்தமான Pc-யில், α துகள்களின் நெருக்கமாகும்.

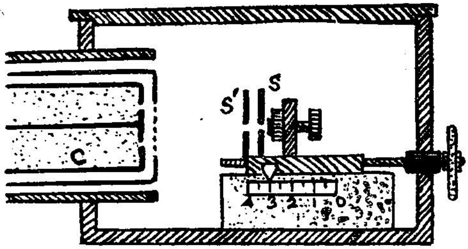


படம் 7–4

மின்னோட்ட-வாயு அழுத்த வளைகோடு

நெடுக்கம், வாயுவின் சார்பிலா வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்திலும், வாயுவின் அழுத்தத்திற்கு எதிர்விகிதத்திலும் உள்ளதால், Pc-யில் உள்ள நெடுக்கத்தின் அளவிலிருந்து தேவைப்படும் படித்தர நிலைகளில் நெடுக்கங்களைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். கைகரும் நட்டலும் அவர்களது பரிசோதனை முடிவுகளிலிருந்து $\log \lambda = a + b \log R$ என்ற விதியை ஒரு குறிப்பிட்ட கதிரியக்க வரிசைக்குக் கூறினர். இதில் a, b ஆகியவை மாறிலிகள். மேலும், யுரேனியம், தோரியம், ஆக்டினியம் வரிசைகளுக்கு b ஒரே மதிப்புடையதாகவும், a வெவ்வேறு மதிப்புகளைப் பெற்றதாகவும் உள்ளன. துல்லியமான பரிசோதனைகளிலிருந்து இந்த விதி தோராயமானதே எனத் தெரிகிறது.

ஆகவே, α துகள்களின் நெடுக்கங்களைத் துல்லியமாகக் காண ஹாலோவே—லிவிங்ஸ்டன் (Holloway and Livingstone) முறை கையாளப்படுகிறது. இதற்குப் பயன்படும் கருவியின் அமைப்பு படம் 7-5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. S என்பது α துகள்களின் தோற்றுவாயான போலோனியம். இத் துகள்களை உட்கவரும் வாயுவாகக் காற்று எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. காற்றின் வெப்பநிலையும் அழுத்தமும் சோதனையின்போது அடிக்கடி அளவிடப்படுகின்றன. S′ என்ற வட்ட வடிவத் திறப்புகளின் தொகுப்பைப் பயன்படுத்துவதால் α துகள்களின் குறுகலான கற்றை கிடைக்கிறது. இதில் α துகள்களைக் கண்டுணரும் கருவியாக, திரைச் சுவர்களையுடைய ஆழமற்ற அயனிக்கலம் C விளங்குகிறது. இதன் ஆரம் சுமார் 1 மி.மீ. முதல் 2 மி.மீ. வரை இருக்கும். தனித்தனியே α துகள்கள் கலத்தினுள் செல்லும்போது, அயனித் துடிப்புகள் உண்டாகின்றன. கலத்தின் மின்வாய்களின்மேல் தூண்டப்பட்ட மின்னழுத்தத் துடிப்புகள் எலெக்ட்ரானிய முறையில் பெருக்கப்பட்டு



படம் 7-5

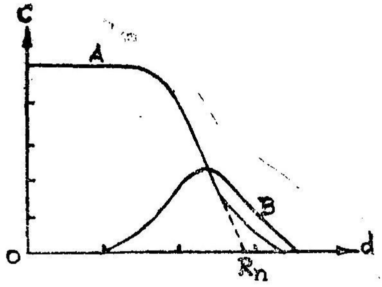
α துகள்களின் நெடுக்கத்தை அளவிடும் ஹாலோவோ-லிவிங்ஸ்டன் கருவியின் அமைப்பு

S — தோற்றுவாய் ; S′ — இடைத்திரை ; C—அயனியாக்கக் கலம்.

எண்ணப்படுகின்றன. பிறகு, எண்ணப்படும் வீதம், தோற்றுவாய்க்கும் கண்டுணரும் கருவிக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவின் ஒரு சார்பாகக் கணக்கிடப்படுகிறது.

எண்ணப்படும் வீதம் C-க்கும், தோற்றுவாய்-கண்டுணர் கருவி தொலைவு d-க்கும் வரையப்பட்ட வரைபடம் படம் 7-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தில் A என்ற வளைகோடு 'தொகுப்பு நெடுக்க வளைகோடு' (integral range curve) எனப்படுகிறது. இதிலிருந்து எல்லா α துகள்களும் ஒரே அளவு நெடுக்கம்

பெற்றிருக்கவில்லை என்பது தெரிகிறது. அப்படி இல்லாவிடில் ஒரு குறிப்பிட்ட d-ன் அளவில் α துகள்களின் எண்ணிக்கை சுழியாகியிருக்கும். நீட்டப்பட்ட நெடுக்கம் Rn என்பது தொகுப்பு நெடுக்க வளைகோட்டின் வளைவு மாற்றப் புள்ளியில் (point of inflexion) வரையப்படும் தொடுகோடு, தொலைவு அச்சான X அச்சை வெட்டும் புள்ளியின் மதிப்பாகும். வளைவு மாற்றப் புள்ளியின் X அச்சு மதிப்பு, சராசரி நெடுக்கத்தைக் (mean range) கொடுக்கிறது. தொகுப்பு நெடுக்க வளைகோட்டின், எந்தத் தோற்றுவாய்-கண்டுணர் கருவி தொலைவிற்கு வாட்டம் வரையப்படுகிறதோ, அந்த வாட்டத்தின் அளவு அந்தத் தொலைவில் ஓரலகு பாதை நீளத்தில் அமைதி நிலைக்குக் கொண்டு வரப்படும் α துகள்களின் எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கிறது. இந்த அளவை y அச்சின் மதிப்பாகவும், தோற்றுவாய்-கண்டுணர் கருவி தொலைவை X அச்சின் மதிப்பாகவும் கொண்டு வரையப்பட்ட வரைபடத்திற்கு 'வேறுபடு நெடுக்க வளைகோடு' (differential range curve) என்று பெயர். படம் 7-6-ல் இது B என்ற வளைகோடாகும்.



படம் 7—6

எண்ணிக்கை வீதம் - நெடுக்க வளைகோடுகள்

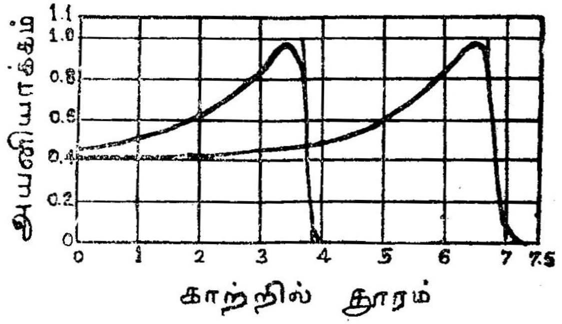
மேலே கூறப்பட்ட பரிசோதனைகளில் α துகள்கள் தோற்றுவாயிலிருந்து வெளியே புறப்படுவதற்கும், கண்டுணர் கருவியை இயக்குவிப்பதற்கும் செலவிடும் ஆற்றல், உட்கவரும் வாயுவில் அவை இழக்கும் ஆற்றலுடன் ஒப்பிடும்போது முன்னது மிகக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். ஆகவே, தோற்றுவாய்கள், கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளின் மிக மெல்லிய படலங்களாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன.

α துகள்கள் அவற்றின் பாதைகளில் அயனியாக்கம் உண்டாக்குவதால் அவற்றின் பெரும்பகுதி ஆற்றலை இழக்கின்றன. ஒரு α துகளால் உண்டாக்கப்படும் அயனியாக்கத்தின் அளவு அந்தத் துகள் அதன் பாதையில் மோதும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையையும் அது மூலக்கூறுகளின்மேல் மோதும் விதத்தையும் ஒத்தது. ஒரு செ.மீ. காற்று நீளத்தைக் கடக்கும் போது சில துகள்கள் சராசரி எண்ணிக்கையைவிட அதிகமான மூலக்கூறுகளையும், சில துகள்கள் குறைவான மூலக்கூறுகளையும் மோதுகின்றன. ஆகவே, வெவ்வேறு துகள்கள் காற்றில் தோற்றுவாயிலிருந்து வெவ்வேறு நெடுக்கங்களைக் கடக்கும்போது அவை தங்கள் ஆற்றல் முழுவதையும் செலவழிக்கின்றன. இதனால்தான் இந்தத் தொலைவு அலைந்து திரியும் (straggling) இயல்பைப் பெற்றுள்ளது. இந்த அலைந்து திரிதல் இயல்பால் α துகள்களின் சரியான நெடுக்கத்தை நிர்ணயிப்பது கடினமாக உள்ளது. ஆகவே, சராசரி அளவு அல்லது வரைபடத்தில் வளைகோட்டை நீட்டிப் பெறப்படும் அளவு எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. காற்றுக்கு, 15°C வெப்பநிலையும், 760 மி.மீ. பாதரச அழுத்தமும் உள்ளபோது அதன் α துகள் நெடுக்கங்கள் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன.

α துகள்களின் கற்றை ஒன்றால் உண்டாக்கப்படும் அயனியாக்கத்தை அளவிட முடியும். அந்த அயனியாக்கம் துகள்களின் ஆற்றலையும் நெடுக்கத்தையும் பொறுத்தது. அயனியாக்கத்தின்போது ஓர் அணுவிலிருந்து விலக்கப்படும் எலெக்ட்ரான், நேர்மின் அயனி ஆகிய இரண்டும் அயனி-இரட்டையாக, அமைகின்றன. α துகள்களால் அவற்றின் பாதையில் ஒரு மில்லிமீட்டர் தொலைவில் உண்டாக்கப்படும் அயனி இரட்டைகளின் எண்ணிக்கை 'அயனியாக்க எண்' (specific ionisation) எனப்படுகிறது. α துகள்களின் அயனியாக்க வலிமையை அளவிட இது பயன்படுகிறது. 7-5-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஆய்கருவியைப் பயன்படுத்தி, α துகள்கள் அவற்றின் தோற்றுவாயிலிருந்து வெவ்வேறு நெடுக்கங்களில் உண்டாக்கும் அயனியாக்க எண்ணை ஒப்பிட முடியும். அதற்குக் கருவியிலுள்ள அயனிக் கலத்தினுள் உண்டாகும் அயனி இரட்டைகளின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்தில் மின்னழுத்தப் பெருக்கியின் வெளிவரு துடிப்பின் மேல்மட்ட அளவு இருக்குமாறு அமைக்க வேண்டும். RaF (Po^{210}), RaC′ (Po^{214}) ஆகியவற்றிலிருந்து வெளிப்படும் α துகள்களுக்கான அயனியாக்க எண்-நெடுக்க வளைகோடு படம் 7-7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒற்றை ஆற்றல் கொண்ட துகள்களின் தொகுப்பிற்கு எந்த வாயு ஊடகமாக

இருந்தாலும் இதே மாதிரி வளைகோடுகளே கிடைக்கின்றன. துகள்களின் நெடுக்க அயனியாக்க மதிப்பு ஆகியவை மாறினாலும் கூட வளைகோடுகளின் உருவ அமைப்பு மாறுவதில்லை. தோற்று வாயிலிருந்து α துகளின் நெடுக்கம் அதிகரிக்கும்போது ஒப்பு அயனியாக்க எண் (relative specific ionisation) அதிகரிக்கிறது. இந்த அதிகரிப்பு முதலில் மிக மெதுவாகவும் பிறகு வெகு விரை வாகவும் ஒரு பெரும அளவை அடைந்த பிறகு திடீரெனச் சுழியாகவும் ஆகிறது. படம் 7-6-ல் அலைந்து திரிதலின் விளைவு நன்கு புலப்படுகிறது.

ஒரு வாயு ஊடகத்தின் வழியாகச் செல்லும்போது அதன் ஆற்றல் தெரிந்த ஒரு α துகள் முழுவதும் வாயுவால் உட்கவரப் படுவதால் உண்டாக்கப்படும் அயனிகளின் எண்ணிக்கையை அளவிடமுடியும். ஆற்றல் 7·68 Mev உள்ளதும் அயனியாக்கம் நீட்டப்பட்ட நெடுக்கம் 6·95 செ.மீ. உள்ளதுமான RaC′ (Po^{214})ன் ஒரு α துகள் 15°C வெப்ப நிலையும் 760 மி.மீ. பாதரச அழுத்தமும் உள்ள காற்றில் அது உட்கவரப்படுவதற்குள் $2·2 \times 10^5$ அயனி இரட்டைகளை உருவாக்கக்கூடியவை. இதிலிருந்து



படம் 7—7

அயனியாக்க எண்ணிற்கும் நெடுக்கத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டும் வரைபடம்

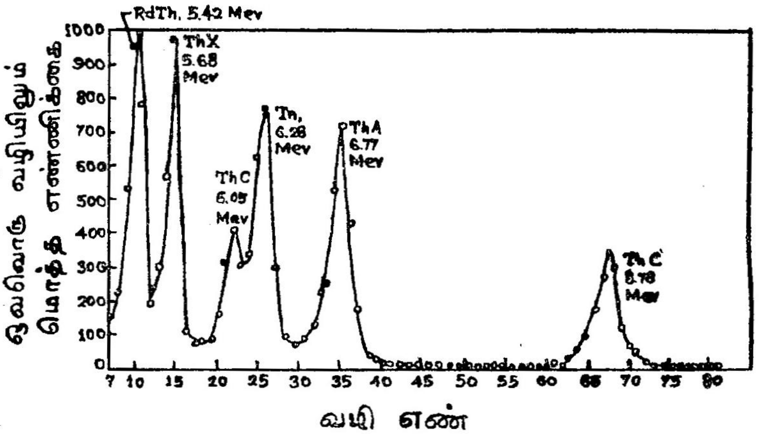
ஒவ்வோர் அயனி—இரட்டை உருவாகும்போதும் துகள் சராசரியாக 35ev ஆற்றலை இழப்பது தெரிகிறது. படம் 7-7-லிருந்து RaC′ ஒரு α துகள் ஒரு மி.மீ. பாதையைக் கடக்கும் போது உண்டாகும் அயனியாக்கம் கணக்கிடப்படுகிறது. ஒரு α துகள் துவக்கத்தில் ஒரு மி.மீ.க்கு 2200 அயனி இரட்டைகளை உண்டாக்குகிறது. முதலில் α துகள் ஆற்றலை இழப்பதால் அயனியாக்கம் மிக மெதுவாக அதிகரிக்கிறது; நெடுக்கத்தின் முடிவிலிருந்து 3 செ.மீ. தொலைவில் 1 மி.மீ. க்கு 2700 அயனி

இரட்டைகள் உண்டாகின்றன. இந்த வீதம் பிறகு வெகு விரைவாக அதிகரித்து நெடுக்கத்தின் முடிவிலிருந்து 4 அல்லது 5 மி.மீ. தொலைவில் 1 மி.மீ.க்கு 7000 அயனி இரட்டை என்ற பெரும அளவை அடைகின்றது. நெடுக்கத்தின் கடைசி சில மி.மீ. தொலைவுகளில் அயனியாக்க எண் வெகு விரைவாகக் குறைகிறது. அயனியாக்க வளைகோட்டின் உருவ அமைப்பு, α துகள் தன் பாதையைக் கடக்கும் போது உண்டாகும் அதன் வேகத்தில் ஏற்படும் மாறுதலைப் பொறுத்துள்ளது. அயனி இரட்டைகள் உண்டாக்கப்படும்போது, α துகள் தன் ஆற்றலை இழக்கிறது. ஆகவே, அதன் வேகம் குறைகிறது. துகள் மெது வாகச் செல்லும்போது, அதனை எதிர்ப்படும் காற்று மூலக்கூறு களுடன் அதிக நேரம் நெருங்கியுள்ளது. ஆகவே, அதிக அயனி இரட்டைகள் உண்டாக்கப்படும் வாய்ப்பு உள்ளது. தோற்று வாயிலிருந்து அதிகத் தொலைவில் உள்ள α துகள்களின் அயனி யாக்க எண் அதிகரிப்பை இந்த விளைவு விளக்குகிறது. இதன் முடிவில் α துகள் எலெக்ட்ரான்களைக் கவர்வதால் நடுநிலையான ஹீலியம் அணு அமைகிறது. இந்த நடுநிலை ஹீலியம் அணு, அயனியாக்கத்தை உண்டாக்க முடியாது.

ஒரு α துகளால் உண்டாக்கப்படும் முழு அயனியாக்கத்தை யும் அளவிட்டுத் துகளின் ஆற்றலைக் கணக்கிடமுடியும். α துக ளின் முழுப்பாதையும் கருவியின் அயனிக் கலத்தினுள்ளேயே அமைந்திருந்து, அதனுள்ளே உண்டாகும் அயனி இரட்டை களின் எண்ணிக்கையை அளந்தால், வெவ்வேறு வாயுக்களில் ஓர் அயனி இரட்டையை உண்டாக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றலின் அளவு தெரியுமாதலால், α துகளின் ஆற்றலைக் கணக்கிடமுடியும். α துகள் உண்டாக்கும் அயனியாக்கத்தின் விளைவாக ஒன்றுசேர்ந்த மின்னூட்டத்தை அளப்பதற்குப் பதிலாக, அயனிக்கலத்தில் உண்டாகும் மின்னழுத்தத் துடிப்புகள் ‘பலவழி வேறுபடு மின் துடிப்பு உயரப் பொறுக்கிகள்’(multichannel differential pulse height selectors) எனப்படும் மிக நுணுக்கமான எலெக்ட்ரானிய இணைப்புகளால் பகுத்தாராயப்படுகிறது. அயனிக்கலத்தின் வெளிவரு மின் னூட்டம் பெருக்கப்பட்டுப் பல வெவ்வேறு துடிப்பு—நேர்திறன் சுற்றுகளில் அனுப்பப்படுகிறது. ஒவ்வொரு சுற்றும் ஒவ்வொரு உச்ச அளவு கொண்ட மின்துடிப்பைத் தேர்ந்தெடுக்கும்படி அமைந்துள்ளது. இதனால் ஒரே சமயத்தில் பல உச்ச அளவு கொண்ட துடிப்புகள் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. போதுமான அளவு சுற்றுகள் இருக்குமானால் உண்டாகும் துடிப்புகள்

முழுவதையும் ஒரே சமயத்தில் பதிவு செய்யமுடியும். காந்தப் புலத்தில் உண்டாகும் விலகல் முறைகளில் ஏற்கனவே கண்டு பிடிக்கப்பட்ட α துகள் வெளிவிடும் வெவ்வேறு பொருள்களின் ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி இணைப்புகளின் வரிசை எண்ணுக்கும் ஆற்றலுக்கும் வரையப்பட்ட ஒரு வரைபடம் மதிப்பு ஒப்பிடும் படித்தரமாக உதவுகிறது.

48 வெவ்வேறு சுற்றுகளைக்கொண்ட கருவி, α துகள்களை வெளிப்படுத்தும் செயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளை ஆராய வெகுவாகப் பயன்படுத்தப்பட்டது. இக் கருவியைக்கொண்டு ஆர்கான் வாயுவில் RdTh (Th^{228}) யினாலும் அதன் விளை பொருள்களாலும் உண்டாக்கப்பட்ட அயனியாக்கத்தைப் பகுத் தாராய்ந்ததன் முடிவுகள் படம் 7—8 ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இணைப்புகளின் வரிசை எண் ஆற்றலைப் பொறுத்து அமைந்துள்ள



படம். 7—8.

ரேடியோ தோரியமும் அதன் விளைபொருள்களும் ஆர்கானில் உண்டாக்கும் அயனியாக்க விளைவு.

மின் துடிப்பின் அளவைக் குறிக்கிறது. படத்திலுள்ள வளைகோடு Rd(Th) யிலிருந்து ThA வரையில் ஒரு கட்டமாகவும், ThA யிலிருந்து ThC′ வரை இரண்டாவது கட்டமாகவும் அளவுகள் எடுக்கப்பட்டு வரையப்பட்டது. ஒவ்வொரு நியூக்ளைடும் வெளிப்படுத்தும் α துகள்களின் எண்ணிக்கை, அதைக் குறிக்கும் வளைகோட்டு உச்சியினால் அடைக்கப்படும் பரப்பிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.

ஆல்ஃபாத் துகள்களின் நெடுக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்கத் திடப் பொருள்களின் உலோகத் தகடுகள் உட்கவரும் பொருள் களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. α துகளின் தோற்று வாயைத் திடப்பொருளின் மெல்லிய சீரான தகடுகளால் மூடி, வெளிப்படும் α துகள் முழுமையாக உட்கவரப்படும் போது உள்ள தகட்டின் தடிப்பு, துகளின் நெடுக்கத்தின் அளவீடாகும். மைகா, அலுமினியம், தங்கம் ஆகியவற்றின் தகடுகளைத் தேவையான சீரான தடிப்பிற்கு எளிதில் செய்யமுடியுமாதலால், அவை பெரிதும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்தப் பொருள் களில் α துகள்களின் நெடுக்கம் மிகச்சிறியது. RaC′-ன் α துகள் களின் நீட்டப்பட்ட நெடுக்கம் காற்றில் 6·953 செ.மீ; மைகாவில் 0·0036 செ.மீ; அலுமினியத்தில் 0·00406 செ.மீ; தங்கத்தில் 0·0014 செ.மீ.

நிறுத்தும் திறன்

திடப்பொருள்களில் α துகள்கள் உட்கவரப்படும்போது நாம் காணும் இன்னொரு மிக முக்கியமான பண்பு திடப்பொருளின் 'நிறுத்தும் திறன்' (stopping power) ஆகும். **α துகள் ஒரு பொருளின் ஓரலகு தொலைவைக் கடக்கும்போது துகள் இழக்கும் ஆற்றலின் அளவே பொருளின் நிறுத்தும் திறன் எனப்படும்.**

$$S(E) = -\frac{dE}{dx}$$

இதில் E என்பது, துகளின் இயல்பான இயக்க ஆற்றல். S என்பது, நிறுத்தும் திறன். நிறுத்தும் திறன் ஆற்றலுக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. ஆகவே, துகளின் நெடுக்கம் R என்பதை

$$R = \int_0^R dx = \int_0^{E_0} \frac{dE}{S(E)}$$

என்று குறிப்பிடலாம். இதில் E_0 என்பது துகளின் தொடக்க இயற்ற ஆற்றல்.

ஒரு பொருளின் நிறுத்தும் திறனைக் கண்டுபிடிக்க α துகள் அப்பொருளின் ஒரு குறிப்பிட்ட தடிப்பின் வழியாகச் சென்ற பிறகு காந்தப்புலத்தினுள் விலகல் பெறச் செய்து பரிசோதனைப்

படி அளவிட வேண்டும். வெவ்வேறு தொடக்க திசை வேகங்கள் உள்ள துகள்கள் திடப்பொருளின் குறிப்பிட்ட தடிப்பைத் தாண்டுவதில் இழக்கும் ஆற்றலைக் கண்டுபிடித்து, மேலே கூறிய சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தித் துகளின் நெடுக்கத்தை அதன் தொடக்க ஆற்றலின் ஒரு சார்பாகக் 'கணக்கிட முடியும். பின்னர்ப் பொருளின் நிறுத்தும் திறனை,

$$\frac{dR}{dE} = \frac{1}{S(E)}$$

என்ற சமன்பாட்டைக்கொண்டு பெறலாம்.

திடப்பொருளின் நிறுத்தும் திறனை எந்திரவியல்படியும், குவான்டம் எந்திரவியல்படியும் கொள்கையின் அடிப்படையாகக் கணக்கிடமுடியும். ஆகவே, அது முக்கியமானதாகிறது. அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்கள் இயங்கும் தன்மையைப் பொறுத்துத் திடப்பொருள்களின் நிறுத்தும் திறனைப் பற்றிய கொள்கையும் அமையும். விரைவாகச் செல்லும் மின்னூட்டத் துகள்களின் அயனியாக்கப் பரிசோதனைகளில் காணப்பட்ட அவற்றின் ஆற்றல் இழப்பு, நெடுக்கம் பற்றிய முடிவுகள், கொள்கைப்படி கணக்கிடப்பட்ட மதிப்புகளோடு மிகவும் ஒத்துள்ளன. α துகள்கள் பொருள்களால் உட்கவரப்படுவதைப் பற்றிய அனுபவ விதிகளைப் புரிந்துகொள்ள இக் கொள்கை பயன்படுகிறது. கொள்கைப்படி, திடப்பொருளின் வழியாகச் செல்லும் துகள் அதன் பாதையில் ஓரலகு தொலைவைக் கடக்கும் போது இழக்கும் ஆற்றல்

$$S = -\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi z^2 e^4 N}{m_e V^2} \quad Z \ \ln \frac{2 mev^2}{I}$$

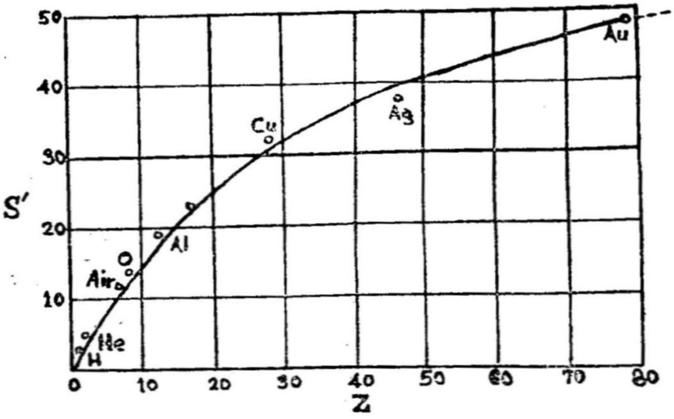
இதில் z-ம் v-ம் மின்னூட்டத் துகளின் மின்னூட்டம், திசைவேகம்; me என்பது எலெக்ட்ரானின் நிறை; z என்பது, திடப்பொருளின் 'அணு எண்; N என்பது, திடப்பொருளின் 1 க. செ. மீ. ல் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை; I என்பது, திடப்பொருள் அணுவின் கிளர்ச்சியூட்டும் மின்னழுத்தம். α துகளுக்கு z = 2;

எனவே, $S' = -\frac{mev^2}{16\pi e^4 N} \frac{dE}{dx} = Z \ln\left(\frac{2 mev^2}{I}\right)$

சமன்பாட்டின் இடப்புறமுள்ள S' என்பது, திடப் பொருளின் நிறுத்தும் திறனுக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது

I-ன் மதிப்பு மற்ற மதிப்புகளுடன் Z-ன் மதிப்பையும் பொறுத்துள்ளது. அதனால், S', Z ஆகியவற்றுக்கு வரையப்படும் வரைபடம் (படம் 7-9) நேர்கோடாக அமையாமல் ஒரு வளைகோடாக உள்ளது. பரிசோதனைப்படியும் கொள்கைப் படியும் இந்த முடிவுகள் ஒத்துள்ளன. படத்தில் தடித்த வளை கோடு கொள்கைப்படியான முடிவையும், சிறிய வட்டங்கள் பரிசோதனை முடிவையும் குறிக்கின்றன.

திடப்பொருளின் நிறுத்தும் திறன் அதனூடே செல்லும் மின்னூட்டத் துகளின் திசைவேகத்தைப் பொறுத்து மாறு வதால், பொருளின் நிறுத்தும் திறன்களின் விகிதத்தை, ஒரு படித்தரப் பொருளின் விகிதத்துடன் ஒப்பிடுவது வசதியானது. 760 மி.மீ. பாதரச அழுத்தமுள்ள 15°C காற்று படித்தரப் பொருளாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. இதில் கிடைக்கும் நிறுத்தும் திறன்களின் விகிதம், திசைவேகத்தைப் பொறுத்து மாறாமல் மாறிலியாக இருக்கும். மின்னூட்டத் துகள்கள் காற்றில் பெற்றுள்ள நெடுக்கத்திற்கும் கொடுக்கப்பட்ட பொருள் களில் பெற்றுள்ள நெடுக்கத்திற்கும் உள்ள விகிதத்திற்கு 'ஒப்பு நிறுத்தும்' திறன் (relative stopping power) எனப் பெயர்.



படம் 7—9
அணு எண்ணுடன் (Z) நிறுத்தும் திறன் (S') மாறும் விதம்.

சில சமயங்களில் பொருள்களின் நிறுத்தும் திறனை இணை மாற்றுத் தடிப்பாக (equivalent thickness) மி.கி. / ச.செ.மீ.

அலகில் குறிப்பிடுவதுண்டு. (mg/sq. cm.)இணைமாற்றுத் தடிப்பு மி·கி. / ச.செ.மீ. அலகு

$$= \text{நெடுக்கம்} \times \text{அடர்த்தி} \times 1000.$$

இந்த அளவு, α துகள்களை உட்கவரும் ஓரலகு பரப்பு அல்லது தடிப்பின் நிறையைக் கொடுக்கின்றது. ஒரு செ. மீ. காற்றில் இணைமாற்றுத் தடிப்பு (மி.கி.ச./செ.மீ. அலகில்)

$$= \frac{\text{அடர்த்தி} \times 1000}{\text{ஒப்பு நிறுத்தும் திறன்}}$$

இங்கு விவரிக்கப்பட்ட பல வகை அளவுகளும் அட்டவணை II-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. Rac′-லிருந்து வெளிப்படும் α துகள்களுக்குக் கணக்கிடப்பட்ட அளவுகள் அட்டவணையில் உள்ளன.

அட்டவணை 7-II

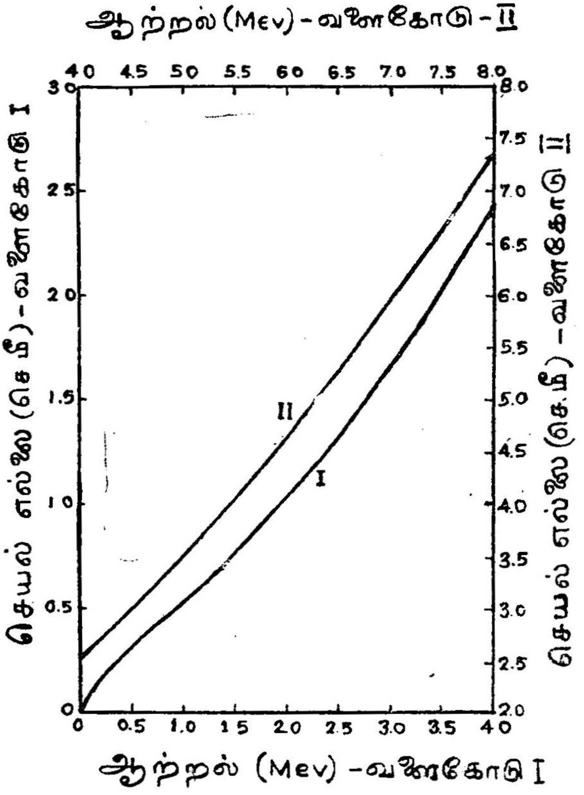
Rac′-ன் α துகள்களின் நெடுக்கம், நிறுத்தும் திறன்

பொருள்	நீட்டப்பட்ட நெடுக்கம் செ.மீ.	ஒப்பு நிறுத்தும் திறன்	அடர்த்தி கிராம்/செ.மீ.^{2}	இணைமாற்றுத் தடிப்பு மி.கி./செ.மீ.^{2}
மைகா	0·0036	1930	2·8	10·1
அலுமினியம்	0·00406	1700	2·7	11·0
செம்பு	0·00183	3800	8·93	16·3
தங்கம்	0·00104	4950	19·33	27·1

நெடுக்கம் — ஆற்றல் வளைகோடுகள்

சில இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் α துகள்கள் காற்றில் பெற்றுள்ள நெடுக்கங்கள், காந்தப் புல விலக்கல் முறையில் கணக்கிடப்பட்ட ஆற்றல் ஆகியவை அட்டவணை 7-III-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள மதிப்புகள் நெடுக்கம், ஆற்றல் இரண்டிற்குமிடையே, உள்ள தொடர்பைக் காட்டுகிறது. ஆற்றல் அதிகரிக்கும்போது நெடுக்கமும் அதிகரிக்கிறது.

சராசரி நெடுக்கத்திற்கும் ஆற்றலுக்கும் வரையப்படும் வளைகோட்டிலிருந்து, நெடுக்கம் தெரிந்த α துகள்களின் ஆற்றலைக் கணக்கிடலாம். அட்டவணை 7—III-ல் உள்ள துகள்களின் சிறும அளவு ஆற்றல் 5Mev ஆதலால், அதைவிடக் குறைவான ஆற்றலுக்கு வரைகோடு வரையத் திசைவேகத்தைக் குறைத்தோ அல்லது அணுக்கரு வினைகளில் α துகள்களை



படம் 7—10

α துகள்களின் நெடுக்கம் – ஆற்றல் வளைகோடுகள்

உண்டாக்கியோ அளவீடுகள் செய்யவேண்டும். நெடுக்கம்—ஆற்றல் தொடர்புக்குத் தேவையான அளவுகளைக் கொடுப்பவை கீழ்க்காணும் இரு வினைகளேயாகும். முதலாவது வினை :

$$Li^6 + n \longrightarrow He^4 + H^3 + Q$$

இதில் Q வின் மதிப்பு 4·788 ± 0·023 Mev. இதில் உண்டாகும் α துகளின் ஆற்றல் 2·057 ± 0·01 Mev; அதன் நெடுக்கம் 1·04 ± 0·02 செ.மீ. இரண்டாவது வினை

$$B^{10} + n \longrightarrow Li^{7} + He^{4} + Q$$

இதில் Q-வின் மதிப்பு 2·316 ± 0·006 Mev; α துகளின் ஆற்றல் 1·474 ± 0·004; Mev. அதன் நெடுக்கம் 0·720 ± 0·015 செ. மீ. இப்படிப்பட்ட வினைகளில் கிடைக்கும் அளவுகளைக்கொண்டும் அயனியாக்கம்—ஆற்றல் இழப்பு பற்றிய நுணுக்கமான பரிசோதனை அளவுகளைக்கொண்டும் மிகவும் துல்லியமான நெடுக்கம்— ஆற்றல் வளைகோடுகள் வரையப்படுகின்றன. இத்தகைய வளைகோடு ஒன்று படம் 7-10-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. அது α துகளுக்கானது. புரோட்டான், டியூட்ரான் போன்ற துகள்களுக்கும் இம்மாதிரி வளைகோடுகள் வரையப் படுகின்றன.

இந்த வளைகோடுகளின் ஒரு பயனைப் பார்ப்போம். u^{238} (uI) லிருந்து வெளிப்படும் α துகளின் சராசரி நெடுக்கம் 2·70 ± 0·02 செ.மீ. படம் 7–10-ன் வளைகோடு II படி இந்த நெடுக்கத்திற்கு ஈடான ஆற்றல் 4·25 Mev ஆகும். முழுமையான அயனியாக்க அளவீட்டு முறைப்படி கண்டு பிடிக்கப்பட்ட ஆற்றல் 4·180 ± 0·015 Mevஆகும். இந்த இரு அளவுகளும் வெகுவாக ஒத்துள்ளன. Th^{232}-வின் நெடுக்கம் 2·49 ± 0.02 செ.மீ. எனவே, வளைகோட்டிலிருந்து அதன் ஆற்றல் 4·02 Mev. முழுமையான அயனியாக்கப் பரிசோதனைப்படி இதன் ஆற்றல் 3·99 Mev. இங்கும் இரு மதிப்புகளும் ஒத்துள்ளன.

ஆல்ஃபாக் கதிர் மாலைகள்

துகள்களின் ஆற்றல், நெடுக்கம் ஆகியவற்றைத் தீர்மானிக்க ஒரு கதிரியக்க நியூக்ளைடிலிருந்து வெளிப்படும் α துகள்கள் யாவும் ஒரே தொடக்க திசைவேகத்தையும் ஆற்றலையும் பெற்றிருப்பதாக எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டது. ஆனால், கவனமாக ஆராய்ந்தபோது ஒரு குறிப்பிட்ட நியூக்ளைடு பல வெவ்வேறு ஆற்றல்களைக்கொண்ட α துகள்களை வெளிப்படுத்துவது தெரிய வந்தது. RaC′, ThC′ ஆகிய இரண்டும் வெளிப்படுத்தும் துகள்களின் முதன்மைத் தொகுப்பின் ஆற்றலைவிட மிக அதிகமான ஆற்றலைக்கொண்ட சில அதிகமான நெடுக்கம் கொண்ட α துகள்களையும் வெளி விடுகின்றன. இந்த அதிகமான நெடுக்கம் கொண்ட α துகள்கள் இருப்பதை முதன்முதலில் ருதர்ஃபோர்டு, வுட் (wood) ஆகிய

அட்டவணை 7-III

இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் α துகள்களின் நெடுக்கம், ஆற்றல்

கதிரியக்க நியூக்ளைடு	காற்றில் சராசரி நெடுக்கம் செ.மீ.	ஆற்றல் Mev.
$_{86}Em^{219}$(An)	5·240±0·015	6·542±0·006
$_{84}Po^{215}$(AcA)	6·457±0·008	7·383±0·012
$_{83}Bi^{211}$(AcC)	4·984±0·015	6·273±0·013
$_{84}Po^{211}$(AcC′)	6·555±0·015	7·442±0·015
$_{86}Em^{220}$(Tn)	5·004±0·018	6·2823±0·0013
$_{84}Po^{216}$(ThA)	5·638±0·008	6·7746±0·0013
$_{83}Bi^{212}$(ThC)	4·730±0·008	6·0466±0·0027
$_{84}Po^{212}$(ThC′)	8·570±0·007	8·7801±0·004
$_{86}Em^{222}$(Rn)	4·051±0·008	5·4861±0·007
$_{84}Po^{218}$(RaA)	4·657±0·008	5·9982±0·0008
$_{84}Po^{214}$(RaC′)	6·907±0·006	7·6804±0·0009
$_{84}Po^{210}$(RaF)	3·482±0·006	5·3007±0·0026

இருவரும் கண்டுபிடித்தனர். அவர்கள் ThC யிலிருந்து வெளிப்படும் α துகள்கள் உட்கவரப்படுவதை ஆராய்ந்தனர். சராசரி நெடுக்கம் 4·73 செ.மீ. கொண்ட α துகள்களை ThC வெளிவிடுகிறது; பின்னர் அது β கதிர்களையும் வெளிவிட்டு ThC ஆக மாறுகிறது. இந்த ThC′, சராசரி நெடுக்கம் 8·57 செ.மீ. கொண்ட α துகள்களை வெளிவிடுகிறது. எனவே, ThC-ன் மாதிரிக்கூறில் ThC′-ம் உள்ளதால், இந்தக் கூறிலிருந்து மேற்கூறிய இருவகை நெடுக்கங்களையும் கொண்ட α துகள்கள் வெளிப்படுகின்றன. இந்த மாதிரியான தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிப்படும் சில துகள்கள், நெடுக்கம் 8·6 செ.மீ. கொண்ட துகள்களைத் தடுக்குமளவு தடிப்புடைய உட்கவரும் திரைகளையும் தாண்டிச் செல்வதை ரூதர்ஃபோர்டு, வுட் கண்டனர். அதிக உட்கவரும் தன்மை வாய்ந்த பொருள்களைப் பயன்படுத்தி, இத்

துகள்கள் காற்றில் 11 செ.மீ. நெடுக்கம் கொண்டதாகக் காணப்பட்டது. ஆகவே, இந்தத் துகள்கள் ThC, ThC′ ஆகியவற்றிலிருந்து இயல்பாக வெளிப்படும் துகள்களிலிருந்து வேறுபட்டவை என்பது உறுதிப்பட்டது.

அயனியாக்கக் கலம், முகிற்கலம், காந்தப்புல நிறமாலை வரைவி ஆகியவற்றைக்கொண்டு ஆராய்ந்ததில் ThC′, ஆற்றல் 8·780 Mev கொண்ட முதன்மைத் தொகுப்புடன் 49·92 Mev, 10·543 Mev ஆற்றல் கொண்ட அதிகமான நெடுக்கத்தையுடைய இரு தொகுப்புகளை வெளிவிடுவது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இவற்றுடன் 10·422 Mev ஆற்றல் கொண்ட மூன்றுவது வகைத் தொகுப்பு ஒன்றும் தற்போது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. முதன்மைத் தொகுப்பின் ஒரு மில்லியன் துகள்களுக்கு 9·492 Mev ஆற்றல் கொண்ட 40 துகள்களும், 10·422 Mev ஆற்றல் கொண்ட 20 துகள்களும், 10·543 Mev ஆற்றல் கொண்ட 170 துகள்களும் உள்ளன.

காந்தப்புல நிறமாலை வரைவியைக்கொண்டு RaC′ லிருந்து வெளிப்படும் துகள்களை ஆராய்ந்தபோது அதிலிருந்து வெளிப்படும் முதன்மைத் தொகுப்பு α துகள்களின் ஆற்றல் 7·680 Mev என்றும், அதிலிருந்து ஆற்றல் எல்லைகள் 8·277 Mev யிலிருந்து 10·506 Mev வரை கொண்ட α துகள்கள் 12 வகைகளாக வெளிப்படுவது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இயல்பான நெடுக்கம் கொண்ட ஒரு மில்லியன் துகள்களுக்கு அதிகமான நெடுக்கம் கொண்ட சுமார் 30 துகள்கள் வெளிப்படுகின்றன

1930-ம் ஆண்டுவரை ஒரு கதிரியக்க நியூக்ளிடு வெளிப்படுத்தும் α துகள்களில், அதிகமான நெடுக்கம் கொண்ட துகள்களைத் தவிர மற்ற துகள்கள் யாவும் ஒரே அளவு தொடக்க ஆற்றல் பெற்றுள்ளன என்று கருதப்பட்டது. 1930-ம் ஆண்டு ரோசென்பிளம் (Rosenblum) என்ற விஞ்ஞானி, சில கதிரியக்க நியூக்ளிடுகளால் வெளிப்படுத்தப்படும் இயல்பான α துகள்களும் சிறுசிறு வேறுபாடு கொண்ட வெவ்வேறு திசைவேகத் தொகுப்புகளாக உள்ளன என்று கண்டுபிடித்தார். இந்த இயல்பான α துகள்களின் திசைவேகம், ஆற்றல் வேறுபாடு மிகக்குறைவாக உள்ளதால், இந்த வகையின் எல்லாத் துகள்களின் நெடுக்கங்களும் அலைந்து திரிதல் பகுதியில் அமைகின்றன.

ஆகவே, அதிகப் பிரிதிறன் கொண்ட காந்தப்புல நிறமாலை மானிகளால்தான் இந்த இயல்பான α துகள்களைத் திசைவேக வாரியாகப் பிரித்துணர முடியும். இந்த α துகள்களின் தனித்தனியான ஆனால், மிகவும் நெருக்கமான கூறுகள் ஒரு மாலையை (Spectrum) அமைகின்றன. அதாவது, அவை நுண்வரி அமைப்பு ஒன்றைக் கொடுக்கின்றன. ரோசென்பிளம் கண்டுபிடிப்புக்குப் பிறகு α கதிர் மாலைகளைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளின் பலனாகப் பல இயற்கை, செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் α கதிர் மாலைகள் தெரியவந்தன. Th^{232}-க்கு 3·994 Mev (76%) ஆற்றலும், 3·936 Mev (24%) ஆற்றலும் கொண்ட இருவகைகளும், அயோனியத்திற்கு (Th^{230}) 4·682 Mev (76·3%) ஆற்றலும் 4·615 Mev (23·4%) ஆற்றலும், 4·471 Mev (0·2%) ஆற்றலும் 4.436 Mev (0.07%) ஆற்றலும் கொண்ட நான்கு வகைகளும் உள்ளன. ரேடியம் (Ra^{226}) 4·777 Mev (94·3%), 4·593 Mev (5·7%), 4.34 Mev (0·01%) ஆகிய ஆற்றல்கள் கொண்ட மூன்று வகைகளைப் பெற்றுள்ளது. Ra Ac (Th^{227})க்கு 6·030 Mev முதல் 5·661 Mev ஆற்றல் எல்லைக் குள்ளாகவும், அளவு 25% முதல் 0·1% வரையிலும் 14 வகைகள் உள்ளன. ThC (Bi^{212}) ன் α கதிர்மாலை அட்டவணை 7—IV-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. α கதிர்களின் மாலைகளைப் பற்றித் தற்போது தெரிந்துள்ள விவரங்களின்படி இந்த மாலைகளைக் கீழ்க்காணும் மூன்று பிரிவுகளாக்கலாம் எனத் தெரிகிறது.

(i) ஒரே வகை அல்லது ஒரே வரியைக்கொண்ட மாலைகள் (உதாரணம் Rn, RaA, RaF.)

(ii) இரண்டு அல்லது இரண்டிற்கு மேற்பட்ட தனித்தனியான (ஆனால், மிகக்குறைவான வேறுபாடுள்ள திசைவேகம் அல்லது ஆற்றல் கொண்ட) கூறுகள் ஒரே அளவு அல்லது மிகச்சிறு அளவு மாறுபட்ட வலிமை கொண்ட மாலைகள். (உதாரணம்: ThC, An, AcX, ThX, Pa, Rd Ac.)

(iii) ஒரு முதன்மைத் தொகுப்பையும், அதிலுள்ள துகள்களில் மிகச்சிறிய பின்னப்பகுதி அளவு துகள்களைக் கொண்ட அதிக ஆற்றல் அல்லது நெடுக்கம் கொண்ட பல தொகுப்புகளையும் கொண்ட மாலை. இந்த வகை மாலைகள் மிகக்குறைவான அரைவாழ்வுக் காலம் கொண்ட நியூக்ளைடுகளான RaC′, ThC′ இரண்டில் மட்டும் கிடைக்கின்றன.

அட்டவணை 7-IV

ThC-ன் ஆல்ஃபாக் கதிர் மாலை

வகை	α துகளின் ஆற்றல் Mev.	ஒப்பு துகள்களின் எண்ணிக்கை %	α - சிதைவு ஆற்றல் Mev.
α_0	6·086	27·2	6·203
α_1	6·047	69·9	6·163
α_2	5·765	1·7	5·874
α_3	5·622	0·15	5·730
α_4	5·603	1·1	5·711
α_5	5·478	0·016	5·584

அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள் :

α கதிர் மாலைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதால் குறிப்பிட்ட தனித்த ஆற்றல்களைக்கொண்ட அணுக்கருக்கள் மட்டும் α துகள்களை ஏன் வெளியிட வேண்டும் என்று ஆலோசிக்க வேண்டியதாயிற்று. அணுவின் அமைப்பைப் பற்றிய 'போர் கொள்கை'யிலும் (Bohr's theory), அலை இயக்கவியலிலும் (wave mechanics) அணு மாலைகள் (atomic spectra) உண்டாவதன் காரணம், அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் தனித்தனியான ஆற்றல் மட்டங்களே என எடுத்துக்கொள்வதுபோல அணுக் கருக்களுக்கும் தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்கள் இருந்தால்தான் α கதிர் மாலைகள் உண்டாகலாம் என்று கருதப்பட்டது. அணுக் கருவில் தனித்தனியான பல ஆற்றல் மட்டங்கள் உள்ளன என்றும், அணுக்கரு இயல்பாக அதன் மிகக்குறைவான ஆற்றல் நிலையில் இருக்கும் என்றும், சில குறிப்பிட்ட சமயங்களில் மிகச் சிறிய கால அளவில் அணுக்கரு கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் இருக்கும் என்றும் கருதப்படுகிறது. அப்படிப்பட்ட கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் உள்ள அணுக்கரு தனது மிகையான ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சுப் போன்ற ஏதாவது ஒரு முறையில் வெளிப்படுத்தும்.

இக் கருத்துகளை அடிப்படையாகக்கொண்டு அணுக் கருவில் உள்ள ஆற்றல் மட்டங்களைப் பரிசோதனை மூலம் தீர்மானிக்க முடியும். அணுவைக் கிளர்ச்சியடையச் செய்து

அதிலிருந்து கதிர்வீச்சு பெறுவதுபோல, அணுக்கருக்களையும் கிளர்ச்சியடையச் செய்து அதிலிருந்து பல கதிர்வீச்சுகளைப் பெற்று, கதிர்வீச்சுகளின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடித்து அதன் மூலம் அணுக்கருவின் ஆற்றல் மட்டங்களை நிர்ணயிக்க வேண்டும். தனித்தனியான α கதிர் மாலைகளைக்கொண்ட α துகள்களை வெளிவிடும் பொருள்கள் γ கதிர்களையும் வெளிவிடுவதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. α துகள், γ கதிர் ஆகியவற்றின் ஆற்றல்களைப் பற்றிய சோதனைகளிலிருந்து, பொருளிலிருந்து α துகள் வெளிப்பட்ட பிறகு உள்ள விளைபொருளின் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் உள்ள அணுக்கருவிலிருந்தே γ கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன எனக் காணப்பட்டது. ஆகவே, α துகள் வெளிப்பட்ட பிறகு பொருள் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலேயே உள்ளது; எனவே, அதிலிருந்து மறுபடியும் ஒரு கதிர்வீச்சு நிகழ்கிறது. கேமோ (Gamow) என்ற விஞ்ஞானி α துகள் — γ கதிர் ஆகியவற்றின் ஆற்றல்களுக்குள்ள தொடர்பை விளக்கினார்.

கதிரியக்கப் பொருள் சிதைவுறும்போது, வெளிப்படும் α துகளின் இயக்க ஆற்றலும், சிதைவினால் உண்டாகும் மொத்த ஆற்றல் மாறுபாடும் வெவ்வேறானவை. சிதைவில் உண்டாகும் மொத்த ஆற்றல் மாறுபாட்டிற்கு "ஆல்ஃபாச் சிதைவு ஆற்றல்" (Alpha disintegration energy) என்று பெயர். ஒரு α துகள் வெளிப்படும்போது, மீதமுள்ள அணுக்கரு ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலுடன் பின்னால் உதைத்துத் (recoil) தள்ளப்படுகிறது. ஆகவே α சிதைவு ஆற்றலானது, α துகளின் இயக்க ஆற்றல், விளைபொருளின் பின் உதைப்பு ஆற்றல் ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாகும். உந்தம் மாறாக் கோட்பாட்டுப்படி, $M_{\gamma} = M_r + V_r$. இதில் M, γ ஆகியவை α துகளின் நிறை, திசைவேகம் ஆகியவற்றையும் M_r, γ_r என்பவை மீதமுள்ள அணுக்கருவின் நிறை, திசைவேகம் ஆகியவற்றையும் குறிக்கின்றன. சார்புக் கொள்கைப்படியான விளைவுகளைப் புறக்கணித்து விட்டால்,

$$E\alpha = \frac{1}{2} Mv^2 + \frac{1}{2} M_r V_r^2$$

இங்கு $E\alpha$ என்பது α சிதைவு ஆற்றல் ஆகும்.

$$V_r = \frac{M}{M_r} V$$

$$\text{எனவே, } E\alpha = \frac{1}{2} Mv^2 \left(1 + \frac{M}{M}\right)$$

எனவே α துகளின் இயக்க ஆற்றலை $\left(1 + \frac{M}{M_r}\right)$ அதாவது,

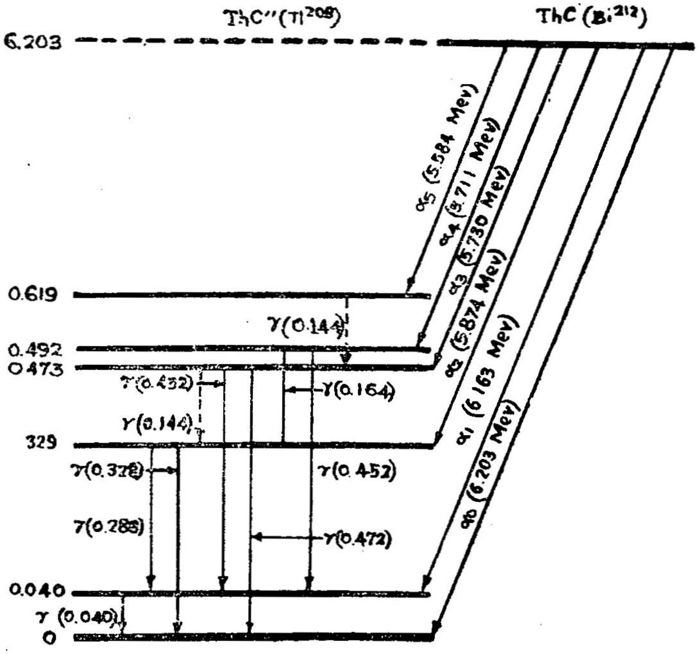
$$1 + \frac{\text{ஆல்ஃபாத் துகளின் நிறை}}{\text{மீதமுள்ள அணுக்கருவின் நிறை}}$$

என்ற அளவால் பெருக்கினுல் α சிதைவு ஆற்றல் கிடைக்கிறது. Thc-யின் α துகள் தொகுப்புகளின் α சிதைவு ஆற்றல் அட்டவணை 7 - IV-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களின் அடிப்படையில், கலப்பு α கதிர் மாலைகளின் (complex α spectra) விளக்கத்தை ThC (Bi^{212})-ன் நிறமாலையிலிருந்து பெறலாம். ThC ஆறு வகையான α துகள்களை வெளிவிடுகின்றது. இவை அட்டவணை 7 - IV-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. மிக அதிக ஆற்றல் கொண்ட α துகள் 6·086 Mev ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளது; இதற்கு நேரான α சிதைவு ஆற்றல் 6·023 Mev ஆகும். ThC-யின் அணுக்கரு α துகளை வெளிவிட்டு ThC″ (Tl^{208}) ஆக மாறும்போது எப்போதும் 6·023 Mev ஆற்றலை வெளிவிடுவதாகவும், இந்த ஆற்றல் முழுவதும் வெளிப்படும் அதிக ஆற்றல் பெற்ற ஏதாவது ஒரு α துகளுடன் இணைந்து வெளிப்படுகிறது என்றும் கருதப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட ஒரு துகள் வெளிப்படுவதால், விளைபொருளின் அணுக்கரு மிகக்குறைவான ஆற்றல் நிலையில், அதாவது அடிநிலை ஆற்றலில் (ground state) உள்ளது. α சிதைவு ஆற்றல் முழுவதும் α துகளின் இயக்க ஆற்றலாகவும், ThC″ அணுக்கருவின் பின் உதைப்பு ஆற்றலாகவும், செலவழிந்துள்ளது.

உதாரணமாக, ThC-ன் அணுக்கரு, சிதைவு ஆற்றல் 6·163 Mev கொண்ட α_1 வகையைச் சேர்ந்த ஒரு α துகளை வெளிவிடுவதாகக் கொள்வோம். அப்போது மொத்த α சிதைவு ஆற்றலில் 0·04 Mev ஆற்றல் மீதமுள்ளது. ஆகவே, இந்த ஆற்றலைத் தன்னிடம் பெற்றுள்ள விளைபொருள் ThC″ அணுக்கரு கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் இருக்கும். இந்த அணுக்கரு அடிநிலை ஆற்றல் மட்டத்திற்கு மாற வேண்டுமானுல், அது 0·04 Mev ஆற்றலை மின்காந்தக் கதிர்வீச்சாக வெளியிட வேண்டும். அப்போது வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு 0·04 Mev ஆற்றலுள்ள γ கதிராக இருக்கும். பரிசோதனைப்படி ThC அணுக்கரு α சிதைவு பெறும்போது உண்மையாகவே 0·04 Mev ஆற்றலுள்ள γ கதிர்களை வெளிவிடுவது காணப்பட்டது.

α துகள்கள், γ கதிர்கள் ஆகியவற்றின் ஆற்றல்களுக்கிடையே உள்ள தொடர்பைக்கொண்டு, அணு ஆற்றல் மட்டப் படங்களைப் போல, அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டப் படங்களை (nuclear energy level diagrams) வரைய முடியும். வழக்கமாகத் தாய் அணுக்கரு சிதைவின் ஆற்றல் மட்டங்களும், சேய் அணுக்கருவின் ஆற்றல் மட்டங்களும் ஒன்றாகவே காட்டப்படுகின்றன. இப்படிப்பட்ட படத்திற்குச் ‘சிதைவு வகைமுறைப் பட்டி’



படம் 7—11

ThC சிதைவுற்று ThC″ ஆக மாறுவதைக் காட்டும் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம்.

என்று பெயர் (decay scheme). அணுக்கரு ThC சிதைவுற்று ThC″ ஆக மாறும்போது உண்டாகும் சிதைவு வகைமுறைப் பட்டி படம் 7-11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தில் சாய்வாக உள்ள கோடுகள் ThC-ன் சிதைவின்போது காணப்படும் வெவ்வேறு α துகள்களின் வகைகளைக் குறிக்கின்றன. அதில் சிதைவு ஆற்றல்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. செங்குத்துக் கோடுகள் γ கதிர்களைக் குறிக்கின்றன. ஒவ்வொரு γ கதிரும் இரண்டு

ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையே உள்ள ஆற்றல் வேறுபாட்டுடன் ஒத்திருக்கிறது. படத்திலிருந்து எந்தெந்த நிலைகளுக்கிடையே ஆற்றல் பரிமாற்றம் நிகழமுடியுமோ அவை யாவற்றிற்கும் γ கதிர்கள் காணப்படவில்லை என்பது தெரிகிறது. இப்படி γ கதிர்கள் காணப்படாததன் காரணம், அக் கதிர்கள் கண்டுணர முடியாதபடி மிகச்சிறிய வலிமையுடையதாகவோ அல்லது இந்த ஆற்றல் பரிமாற்றங்கள் உண்டாகும் வாய்ப்பு இல்லாமலோ இருக்கலாம்.

கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகளிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சைத் தெளிவாக விளக்கும் கொள்கைகள் உள்ளன. தொடக்க ஆற்றல் நிலை, இறுதி ஆற்றல் ஆகிய இரண்டையும் ஒன்றுபடுத்தி கோண உந்தத்தையும் கையாளும் தேர்வு விதிகள் உள்ளன. இயற்கை மற்றும் செயற்கைக் கதிரியக்க, α கதிர் வெளியிடுபவற்றின் α மாலைகள், சிதைவு விளைபொருள்களின் γ கதிர் மாலைகளுடன் தொடர்புபடுத்தப்பட்டு ஆற்றல்மட்ட வகைமுறைப் பட்டிகள் தற்போது வரையப்படுகின்றன.

RaC′ மற்றும் ThC′ ஆகியவை வெளிப்படுத்தும் அதிக நெடுக்கம் கொண்ட α துகள்களின் தோற்றத்தையும் ஆற்றல் மட்டங்களைக்கொண்டு விளக்க முடியும். α சிதைவு ஏற்படுவதற்கு முன்பாகவே ஓர் அணுக்கரு கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் இருக்கலாம்; இது அதற்கு முன்பாக ஏற்பட்ட ஏதாவதொரு சிதைவின் விளைவாயிருக்கலாம். β கதிர், γ கதிர் ஆகியவை அணுக்கருவிலிருந்து வெளிப்படும் விதங்களை ஆராய்ந்தபோது, சில சமயங்களில் β கதிர் வெளிப்படும்போது உண்டாகும் விளைபொருள் அணுக்கரு கிளர்ச்சியுற்றிருக்கும் என்று காணப்பட்டது. அப்போது ஏராளமான வகைகளில் அணுக்கரு ஒரு γ கதிரை அதற்குரிய ஆற்றலுடன் வெளிப்படுத்திவிட்டு, தன்னுடைய அடிநிலை ஆற்றல் மட்டத்தை அடைகிறது. ஆனல் சில சமயங்களில், கிளர்ச்சியுற்ற புதிய அணுக்கரு ஒரு α துகளை வெளிவிடுகிறது. அப்போது அது தன்னிடமுள்ள மிகையான ஆற்றலை, இயல்பான α துகள் கொண்டுள்ள ஆற்றலைவிட அதிகமான ஆற்றலுள்ள α துகளாக வெளிவிடுகிறது. ஆகவே, ஏற்கனவே கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலுள்ள பொருள் வெளிவிடும் α துகள்களே அதிக நெடுக்கம் அல்லது அதிக ஆற்றல் உள்ள α துகள்களாகும்.

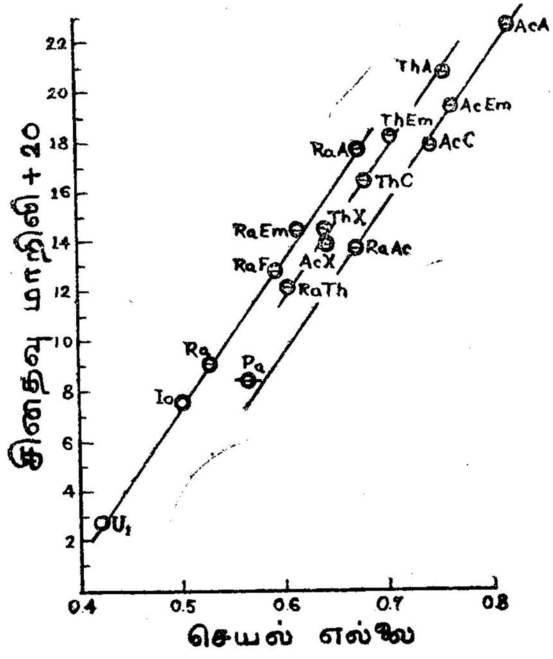
அட்டவணை 7-V

ஆல்ஃபாத் துகள் வெளிவிடும் பொருள்களின் நெடுக்கம், ஆற்றல், அரைவாழ்வு, சிதைவு மாறிலி ஆகியவை

நியூக்ளைடு	சாரசரி நெடுக்கம் படித்தர காற்றில் செ. மீ.	ஆல்ஃபா சிதைவு ஆற்றல் Mev	அரைவாழ்வு	சிதைவு மாறிலி Sec^{-1}
Th^{232}	2·49	4·06	$1{\cdot}39 \times 10^{10}$ ஆண்டு	$1{\cdot}58 \times 10^{-18}$
Ra^{226}(Ra)	3·30	4·86	$1{\cdot}62 \times 10^{3}$ ஆண்டு	$1{\cdot}36 \times 10^{-11}$
Th^{228}(RdTh)	3·98	5·52	1·9 ஆண்டு	$1{\cdot}16 \times 10^{-8}$
Em^{222}(Rn)	4·05	5·59	3·83 நாட்கள்	$2{\cdot}10 \times 10^{-6}$
Po^{218}(RaA)	4·66	6·11	3·05 நிமிடம்	$3{\cdot}78 \times 10^{-3}$
Po^{216}(ThA)	5·64	6·90	0·16 செகண்டு	4·33
Po^{214}(RaC′)	6·91	7·83	$1{\cdot}64 \times 10^{-4}$ செக.	$4{\cdot}23 \times 10^{3}$

ஆல்ஃபாச் சிதைவுக் கொள்கை

α துகள் வெளிவிடும் பொருள்களின் நெடுக்கம், ஆற்றல், அரைவாழ்வுக் காலம், சிதைவு மாறிலி ஆகியவற்றை ஒப்பிடும் போது சில உண்மைகள் தெரியவருகின்றன. அட்டவணை 7-V-ல் சில பொருள்களின் மேற்கூறிய பண்புகள் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன. அதிக நெடுக்கம் கொண்ட சில துகள்கள் நீங்கலாக, மற்றவற்றின் நெடுக்கங்கள் 2·5 செ.மீ. முதல் 8·6செ.மீ.க்குள் ளாகவும், α சிதைவு ஆற்றல் 4·04 Mev முதல் 8·95 Mev-க்குள்



படம் 7—12
கைகர்—நட்டல் விதியை விளக்கும் படம்

ளாகவும் இருக்கின்றன. மிக அதிகமான நெடுக்கத்திற்கும் மிகக் குறைவான நெடுக்கத்திற்கும் உள்ள விகிதம் சுமார் 3·5; ஆற்றலின் மிக அதிகமான அளவுக்கும் குறைவான அளவுக்கும் உள்ள விகிதம் 2 முதல் 2·5 வரையும் உள்ளது. அரைவாழ்வுக் காலம் $1{\cdot}39 \times 10^{10}$ ஆண்டுகளிலிருந்து $3{\cdot}0 \times 10^{-7}$ செகண்டு வரை மாறுபடுகிறது. சிதைவு மாறிலி $1{\cdot}58 \times 10^{-18}$/செகண்டி லிருந்து $2{\cdot}31 \times 10^{6}$/செகண்டு என்றும் மாறுபடுகின்றது.

ஆற்றலில் 2 அல்லது 3 என்றிருப்பது அரைவாழ்வுக்காலத்திலும் சிதைவு மாறிலியிலும் 10^{24} என்பதாக அமைகிறது. அதாவது, ஆற்றலில் ஏற்படும் சிறு மாறுதல்களுக்குச் சிதைவு மாறிலிகளில் வெகு விரைவான மாறுதல்கள் ஏற்படுகின்றன. மிக அதிக வாழ்வுக்காலம் கொண்ட நியூக்ளைடுகள் மிகக் குறைவான ஆற்றல் கொண்ட α துகள்களை வெளிவிடுகின்றன ; குறைந்த வாழ்வுக் காலம் கொண்ட நியூக்ளைடுகள் அதிக ஆற்றல் கொண்ட துகள் களை வெளிவிடுகின்றன. இந்த அனுபவ உண்மைகள் கைகர்-நட்டல் விதியின் தொடர்புபடுத்தப்பட்டுள்ளன. இந்த விதிப்படி, ஒரே கதிரியக்க வரிசையில் உள்ள α துகளை வெளிவிடும் பொருள்களின் சிதைவு மாறிலி/செகண்டுகளின் லாகரிதத்திற்கும் அவற்றின் நெடுக்கங்களின் (செ.மீ. காற்றில்) லாகரிதத்திற்கும் வரையப்படும் வரைபடம் ஒரு நேர்கோடாக அமைகிறது. இயற்கை வரிசைகள் மூன்றிற்குமான நேர்கோடுகள் இணை கோடுகளாக உள்ளன. இந்த விதியைக் கீழ்க்காணும் வாய்பாடாகக் கூறலாம்.

$$\log \lambda = A \log R + B.$$

இதில் **A** என்ற மாறிலி வரைபடத்தின் நேர்கோட்டின் வாட்டம் (slope) ஆகும். மூன்று வரிசைகளுக்கும் A-ன் மதிப்பு ஒன்றே யாகும். ஆனால், B-ன் மதிப்பு வெவ்வேறானது. கைகர்-நட்டல் விதி படம் 7-12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

நெடுக்கம் - ஆற்றல் வளைகோட்டில், அனுபவ ரீதியாக நெடுக்கம் $E^{3/2}$ -க்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. E என்பது, α துகளின் இயக்க ஆற்றல். இத்துடன் கைகர்-நட்டல் விதியை இணைத்து $\log \lambda = A' \log E + B'$ என்று எழுதலாம். இது சிதைவு மாறிலி, ஆற்றல் ஆகிய இரண்டின் லாகரிதங்களுக்கு இடையிலுள்ள தொடர்பைக் காட்டுகிறது.

கதிரியக்கப் பொருள்களின் அணுக்கருவிலிருந்து புறத் தூண்டுதலின்றி α துகள்கள் வெளிப்படுவதையும் அதே அணுக் கருவினுல் α துகள்கள் சிதறடிக்கப்படுவதையும் ஒப்பிடும்போது சில பிரச்சினைகள் கொள்கை ரீதியாக எழுந்தன. U^{238}-ன் அணுக் கருவில் α துகள் வெளிப்படுவதையும் சிதறடிக்கப்படுவதையும் நோக்கும்போது, மிக அதிக வேகமான 9 Mev ஆற்றல் பெற்றுள்ள ThC′-ன் α துகள்கள் பரிசோதனைப்படி U^{238}-ன் அணுக்கருவிற்கருகில் ஊடுருவிச் செல்ல முடிவதில்லை. ஆகவே, அப்போதும் கூலும் விதி அப்படியே அனுசரிக்கப்படுகிறது.

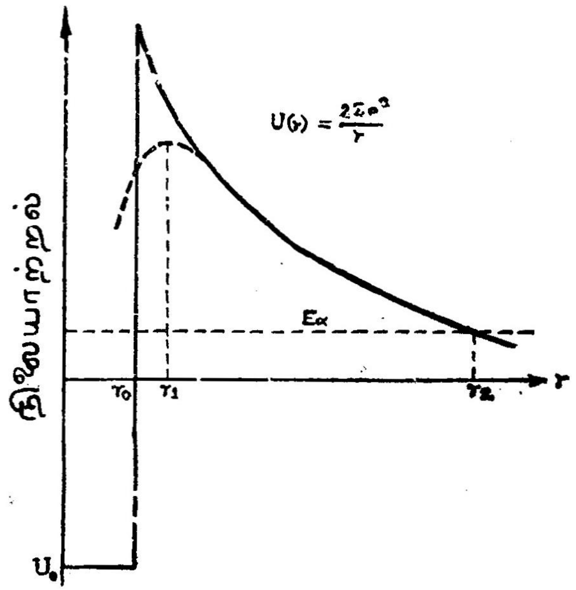
எனவே, அணுக்கருவிலிருந்து 3×10^{-12} செ.மீ. தொலைவு வரையில், α துகள்களில் நிலையாற்றல், கூலும் சமன்பாட்டுப்படி

$$u(r) = \frac{2ze^2}{r}$$

என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. r-ன் மதிப்பு 3×10^{-12} செ.மீ. உள்ளபோது, துகளின் நிலையாற்றல் சுமார் 9 Mev ஆக உள்ளது. r-ன் மதிப்பு குறையும்போது நிலையாற்றலின் மதிப்பு கூலும் விதியை அனுசரிக்காமல் ஒரு சிறிய பெரும அளவையாவது அடைகிறது. இந்த நிலையாற்றல் (அல்லது மின்னழுத்தம்) அணுக்கருவை நோக்கி வரும் α துகளை அதனுள் ஊடுருவாதபடி தடுத்து நிறுத்துகிறது. இந்த ஆற்றலே அங்கு ஒரு மின்னழுத்த அரணை (Potential Barxier) உண்டாக்குகிறது.

யுரேனிய அணுக்கருக்கள் α துகளை வெளிப்படுத்துவதால், அவை வெளிப்படுவதற்குச் சிறிய கால அளவிற்கு முன்பாகாவது அணுக்கருக்களுக்குள்ளாக அவை நிலைத்திருப்பதாக எடுத்துக் கொள்ளலாம். ஒரு கதிரியக்க அணுக்கருவிற்கும், அணுக் கருவின் உட்புறமும் வெளிப்புறமும் உள்ள ஒரு α துகளுக்கும் இடையே ஏற்படும் எதிர்ச்செயல்களைப் படம் 7-13-ல் காட்டப் பட்டுள்ள நிலையாற்றல் வளைகோட்டால் குறிப்பிடலாம். வளை கோட்டில் தொலைவு r_2-விலிருந்து r_1-க்கு உயரும் பகுதி ஒரு α துகள் அணுக்கருவை நெருங்கும்போது அது பெறும் விலகல் விசை அதிகரிப்பதைக் காட்டுகிறது. அணுக்கருவிற்கு மிக அருகிலும் அதற்குள்ளும் உண்டாகும் நிலையாற்றல் வளைகோட்டின் உருவம் உறுதியாகத் தெரியவில்லை. ஆனால், விலகல் தன்மை கொண்ட கூலும் நிலையாற்றல் (மின்னழுத்தம்) தழுவப்படாமல் அதற்குப் பதிலாக ஓர் ஈர்க்கும் நிலையாற்றல் செயற்பட வேண்டும். உறுதியற்ற நிலையுள்ள பகுதியில் அணுக் கருவிற்கும் α துகளுக்கும் இடையே ஏற்படும் எதிர்வினையை U_0 என்ற மாறாத ஈர்க்கும் நிலையாற்றலாகக் குறிப்பிடலாம். இந்த எதிர்வினை r_0 என்ற தொலைவிற்குச் செயற்பட்டால் அந்தத் தொலைவு அணுக்கருவின் 'பயனுறு விளைவு ஆரம்' (effective radiuo) என அழைக்கப்படுகிறது. இந்த மாதிரியான நிலை யாற்றல் U_0 ஆழமும், r_0 அகலமும் (அல்லது நெடுக்கம்)கொண்ட 'மின்னழுத்தப் பள்ளம்' (Potential well) என்றும் அழைக்கப் படுகிறது. எந்திரவியல்படி, மின்னழுத்தப் பள்ளத்திற்குள் $E_\alpha - u$ அளவுஇயக்க ஆற்றல் கொண்ட α துகள் நிலைத்திருக்க முடியும். படம் 7-13-ல் E_α என்ற கிடைமட்டக் கோடு, அணுக்

கருவிலிருந்து வெகு தொலைவில் α துகள் உள்ளபோது, அதன் α சிதைவு ஆற்றலைக் குறிக்கிறது. ஆகவே, அணுக்கருவிலிருந்து துகள் தப்புவதற்கு, நிலையாற்றல் வளைகோட்டின் பெரும அளவு ஆற்றலை அத் துகள் குறைந்தபட்ச இயக்க ஆற்றலாகப்



படம் 7—18

அணுக்கரு, ஆல்ஃபாத் துகள் ஆகியவற்றின் நிலையாற்றலை விளக்கும் வரைபடம்

பெற்றிருக்க வேண்டும். இதேபோல வெளியிலிருந்து அணுக் கருவை நோக்கி வரும் ஒரு α துகள் அணுக்கருவை ஊடுருவ, அதன் நிலையாற்றல் அரணைத் தாண்டும் அளவு இயக்க ஆற்றலை அத் துகள் பெற்றிருக்க வேண்டும்.

ஆகவே, நிலையாற்றல் வளைகோட்டின் பெரும மதிப்பு எந்திர வியல்படி, அது பெற்றிருக்க வேண்டிய இயக்க ஆற்றலைக் குறிக்கிறது. Thc'-லிருந்து வெளிப்படும் α துகள்கள் யுரேனியத்தால் சிதறடிக்கப்படுவதால், இந்தப் பெரும அளவு ஆற்றலின் மதிப்பு 9 Mev ஆற்றலைவிட அதிகமாக இருக்க வேண்டும். யுரேனியம் அணுக்கரு சுமார் 4 Mev ஆற்றல்

கொண்ட ஒரு α துகளை வெளிப்படுத்துகிறது. ஆகவே, அதன் அணுக்கருவினுள் உள்ள ஒரு துகள், துகளின் ஆற்றலைப்போல இருமடங்கு ஆற்றல் கொண்ட நிலையாற்றல் அரணை எப்படித் தாண்டி வருகிறது என்பது விளக்க முடியாததாக உள்ளது. இயற்பியலின் பழங்கொள்கைகளால் (Classical Physics) இதனை விளக்க முடியவில்லை. மேலும், சிறிய ஆற்றல் மாறுபடுகளுக்கும் ஏற்படும் மிக அதிகமான அரைவாழ்வுக்கால மாறுபாட்டையும் (அதாவது, கைகர்—நட்டல் விதியையும்) விளக்க முடியவில்லை.

இதற்கான விளக்கம், α துகள் வெளிப்படுதல், சிதறல் போன்றவற்றில் வரும் நிலையாற்றல் அரணை அலையியக்கவியல் முறைகளைக்கொண்டு பகுப்பாய்வு செய்த போது விளங்கியது. பகுப்பாய்வு முடிவுகள் கீழே விளக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு நிலை யாற்றல் அரணுக்கு அருகாமையில் இயங்கிக்கொண்டிருக்கும் ஒரு துகளின் இயக்கத்தை அலையியக்கவியல் முறைப்படி கையாண்டால், அதாவது ஒரு α துகளுக்கான ஸ்ரோடிங்கர் சமன்பாட்டை (Schrodinger equation) விடுவித்தால், நிலை யாற்றல் அரணின் பெரும அளவு ஆற்றலைவிடக் குறைவான இயக்க ஆற்றல் பெற்றுள்ள ஒரு துகள் அரண்வழியாகக் கசிந்து செல்லக்கூடிய நிச்சயமான வாய்ப்பு உள்ளது என்பது தெரிகிறது. 1928-ல் கேமோ தனியாகவும், காண்டன்—குர்னே (Condon and Gurney) இருவர் தனியாகவும், இது எப்படி நிகழ்கிறது என்பதைக் காட்டினர். நிலையாற்றல் அரண் வழி யாக ஒரு துகள் கசிந்து செல்வதைப் 'புழல் விளைவு' (Tunnel effect) என்பர். இந்தப் புழல் விளைவு நிகழும் வாய்ப்பைக் கணக்கிட முடியும். ஒரு சாதாரண நிலையாற்றல் அரணின் உட்புகு திறன் (permeability) கணிதவியல்படி,

$$P = \exp. \left[- \frac{2\sqrt{2M}}{h'} \int (u - E_\alpha)^{\frac{1}{2}} \, dr\right]$$

என்ற கோவையால் கொடுக்கப்படுகிறது. இதில் $h' = h/2\pi$; M என்பது α துகளின் நிறை; $u(r) > E_\alpha$ என்ற பகுதி முழுவதும் தொகை காணப்படுகிறது (integration). α சிதைவை அலையியக்க முறையில் கையாண்டால் சிதைவு மாறிலிக்கு ஒரு கோவை கிடைக்கிறது. இது நிலையாற்றல் அரணின் உட்புகு திறனைப் பொறுத்தது. இந்த முடிவின் தோராய அமைப்பு

$$\lambda = \frac{V_\alpha}{r_0} \exp \left[- \frac{8(Z-2)e^2}{h'V_\alpha} \left(\alpha_0 - \sin\alpha_0 \cos\alpha_0\right)\right]$$

இதில் $\alpha_0 = \text{arc cos}\left[\frac{MV\alpha^2 r_0}{4e^2(Z-2)}\right]^{\frac{1}{2}}$

r_0 என்பது அணுக்கருவின் பயனுறு விளைவு ஆரமாகும். $V\alpha$ என்பது அணுக்கருவைப் பொறுத்து α துகளின் ஒப்பு திசைவேகம். இது $V = (1 + M / Mr)$ க்குச் சமம். இதில் v என்பது α துகளின் அளக்கப்பட்ட திசைவேகம், Mr என்பது பின் உதைப்புண்ட அணுக்கருவின் நிறை. α சிதைவு ஆற்றலான $E_\alpha = E(1 + M / Mr)$ ஆகும். $(z - 2)$ என்பது சிதைவு விளைபொருள் அணுக்கருவின் மின்னூட்டமாகும்.

சிதைவு மாறிலிக்கான கோவையை இரு கூறுகளால் ஆனதாகக் கொள்ளலாம். அவற்றில் ஒன்று V_α/r_0. இது தோராயமாக ஒரு செகண்டில் நிலையாற்றல் அரணை ஒரு α துகள் மோதும் எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கிறது. இரண்டாவதான e-ன் மடி சார்பு நிலையாற்றல் அரண் வழியாக ஒரு α துகள் கசிந்து செல்லும் வாய்ப்புகளின் எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கிறது. சிதைவு மாறிலிக்கான சமன்பாட்டில் λ என்பது ஒரு e-ன் மடி சார்புக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளதால் e-ன் மடி மதிப்பீட்டில் ஒரு சிறிய மாறுதல் செய்தால் அது λ-வின் மதிப்பில் மிகப்பெரிய மாறுதலைக் கொடுக்கும். e-ன் மடியின் மதிப்பீடு α துகளின் திசைவேகத்தைப் பொறுத்துள்ளதால் திசைவேகத்தில் ஏற்படும் சிறிய மாறுதல், λ-வின் மதிப்பை வெகுவாகப் பாதிக்கும்.

இப்படிப்பட்ட மாறுதல்களின் விளைவை எண் மதிப்புகளைப் பதிவு செய்து எளிதில் புரிந்துகொள்ளலாம். e-ன் மடியில் உள்ள $8e^2 (z-2) / h'V_\alpha$ என்ற அளவை எடுத்துக்கொண்டால் ($\alpha_0 - \sin\alpha_0 \cos\alpha_0$ என்ற சார்பின் மதிப்பு 1; அதன் $V\alpha$ உடன் மாறுபடுகிறது.) அதில் e-ன் மதிப்பு $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$e.s u. ஆகவே, $e^2 = 2{\cdot}304 \times 10^{-19}$, $h' = 1{\cdot}054 \times 10^{-27}$, $z-2 = {\cdot}90$ என்பதால்,

$$\frac{8\,e^2\,(Z-2)}{h'\,V_\alpha} = \frac{8\times2{\cdot}304\times10^{-19}\times90}{1{\cdot}054\times10^{-27}\times V_\alpha}$$

$$= \frac{157\ 5\times10}{V_\alpha}$$

α துகள்களின் திசைவேகங்கள் $1{\cdot}44$லிலிருந்து $2{\cdot}2 \times 10^9$செ.மீ• செகண்டு வரை மாறுபடுகிறது. ஆகவே, மேலே கொடுக்கப்

பட்ட கூறின் மதிப்பு 100 அளவில் உள்ளது. ஆகவே, V_α அல்லது V-ன் மதிப்பில் ஏற்படும் சிறு மாறுதல் சிதைவு, மாறிலியின் மதிப்பில் பெரிய மாறுதலை உண்டாக்கும். மேலும், α துகளின் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்போது சிதைவு மாறிலியின் மதிப்பும் அதிகரிக்கிறது என்று தெரிகிறது. கொள்கைப்படி பெறப்பட்ட கோவை, பரிசோதனையில் காணப்பட்ட முடிவு களுடன் ஒத்துள்ளது. சிதைவு மாறிலியான λ-க்கு அலை இயக்க வியல் முறைப்படி பெறப்பட்ட கோவை அணுக்கரு இயக்க வியலின் முக்கியமானதாகும்.

சிதைவு மாறிலியான λ-வுக்கான கோவையின் இருபக்கங் களுக்கும் லாகரிதம் எடுத்தால்,

$$\log \lambda = \log \frac{\nu_\alpha}{\nu_0} - \frac{8e^2(Z-2)}{2 \cdot 303\ h'\nu_\alpha}(\alpha_0 - \sin\alpha_0 \cos\alpha_0)$$

மேலும், $\alpha_0 - \sin\alpha_0 \cos\alpha_0 \approx \frac{\pi}{2}$ + அதிக அடுக்குகள் உள்ள உறுப்புகள்.

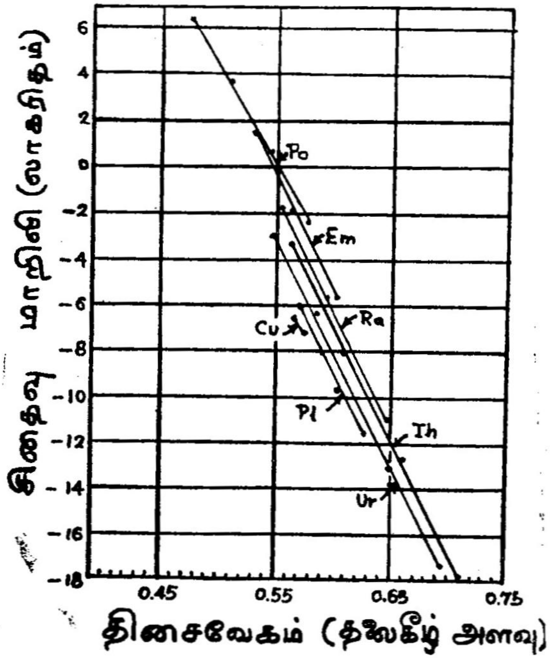
எனவே, $$\log \lambda = \log \frac{V_\alpha}{\alpha_0} - \frac{4\pi e^2(Z-2)}{2 \cdot 303 h'\nu_\alpha} + \frac{8e}{2 \cdot 303 h'}\left[(z-2)\, r_0\, M\right]^{\frac{1}{2}} + \ldots\ldots$$

V_α, r_0 ஆகிய அளவுகள் மிக சிறியனவாகையால் $V\alpha/r_0$ என்பதன் மாறுபாடு மிகக்குறைவாக உள்ளது. அதிக அடுக்குகள் உள்ள உறுப்புகள் சிறிய மதிப்புகள் உள்ளவை. இதற்குப் பதிலாக மாறிலியாக உள்ள ஓர் உறுப்பைப் பதிவீடு செய்தால்,

$$\log \lambda \approx a - b\, \frac{(Z-2)}{\nu_\alpha}$$

இங்கு a, b இரண்டும் மாறிலிகள். இந்தச் சமன்பாட்டுப்படி சிதைவு மாறிலியின் லாகரிதத்திற்கும் ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்தின் ஐசடோப்புகளின் α துகள்களின் திசைவேக தலைகீழ் மதிப்பிற்கும் வரையப்படும் வரைபடம் நேர்கோடாக அமையும். இந்தச் சமன்பாட்டை கைகர்-நட்டல் விதியின் கொள்கைப்படியான உருவமாக எடுத்துக்கொள்ளலாம். இதைப் பரிசோதனை மூலமாகவும் ஒப்பிடலாம்.

கப்லான் (**Kaplan**) என்ற விஞ்ஞானி பரிசோதனை முடிவுகளைச் சமன்பாட்டு முடிவுகளுடன் ஒப்பிட்டார். இரட்டைப்படை எண்களை A-க்கும் Z-க்கும் கொண்ட α துகள்களை வெளிவிடும் பொருள்கள் கொள்கைப்படி பெறப்பட்ட முடிவுகளுடன் மிகவும் ஒத்துள்ளன என்று கப்லான் கண்டு பிடித்தார். படம் 7-14-ல் இரட்டைப்படை எண் மதிப்புகளை A-க்கும் Z-க்கும் கொண்ட பொருள்களின் α துகள்களின் log λ-வுக்கும் $1/V\alpha$-க்கும் வரையப்பட்ட வரைபடம் காட்டப் பட்டுள்ளது. வரைபடத்தின் நேர்கோடுகள் உண்மையிலேயே



படம் 7-14

சிதைவு மாறிலியின் லாகரிதத்திற்கும் திசைவேகத்தின் தலைகீழ் மதிப்பிற்கும் உள்ள தொடர்பு.

கிடைக்கின்றன. நேர்கோடுகளின் வாட்டங்கள் கொள்கை அளவுகளுடன் ஒத்துள்ளன. α துகள்களை வெளிவிடும் பொருள்களின் Z ஒற்றை A இரட்டையாகவும், Z இரட்டை A ஒற்றையாகவும், Z ஒற்றை A ஒற்றையாகவும் உள்ளவற்றிற்கு நேர்கோடுகள் சிறப்பாக அமையவில்லை. α துகள் வெளிப்படும் வாய்ப்பு தாய் அணுக்கரு, சேய் அணுக்கரு

அட்டவணை 7-VI

அணுக்கரு ஆரங்கள்

தாய் அணுக்கரு	விளைபொருள் அணுக்கரு	விளைபொருள் அணுக்கருவின் ஆரம் செ.மீ $\times 10^{13}$	$R_0 = r_0 A^{-\frac{1}{3}}$ செ.மீ. $\times 10^{13}$
Cm^{242}	Pu^{238}	9·32	1·50
Cm^{240}	Pu^{236}	9·29	1·50
Pu^{240}	u^{236}	9·40	1·52
Pu^{238}	u^{234}	9·30	1·51
Pu^{236}	u^{232}	9·30	1·51
u^{238}	Th^{234}	9·54	1·55
u^{236}	Th^{232}	9·36	1·52
u^{232}	Th^{228}	9·33	1·53
u^{230}	Th^{226}	9·33	1·53
Th^{232}	Ra^{228}	9.48	1·55
Th^{226}	Ra^{222}	9·34	1·54
Ra^{226}	Em^{218}	9·30	1·55
Em^{218}	Po^{214}	9·48	1·58
Po^{218}	Pb^{214}	9·23	1·54
Po^{212}	Pb^{208}	9·05	1·53

ஆகியவற்றின் கோண உந்தங்களுடன் வேறுபாட்டைப் பொறுத்துள்ளதே இதற்கான ஒரு காரணமாகும். மேலும் Z, அல்லது A ஒற்றைப்படை எண்ணாக உள்ளபோது உந்தங்களின் மதிப்புகள் இன்னமும் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. ஆகவே, α சிதைவைப் பற்றிய கொள்கை முடிவுற்றதாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதில்லை.

கொடுக்கப்பட்ட அணுக்கருவின் ஆற்றலும், சிதைவு மாறிலியும் தெரிந்தால், α துகளை வெளிவிடும் அணுக்கருவின் பயனுறு விளைவு ஆரத்தைக் கணக்கிடமுடியும். அணுக்கருவின் ஆரத்தை நேரடியாக அளவிட முடியாது. ஆனால், சில வாய்பாடுகளைக்கொண்டு கணக்கிடமுடியும். வெவ்வேறு முறைகளில் கணக்கிடப்பட்ட அணுக்கரு ஆரங்களின் அளவுகள் ஒத்துள்ளன. ஆரத்தின் அளவு 10^{-13} செ.மீ. லிருந்து 10^{-12} செ.மீ. வரை அமைந்துள்ளது. α துகளை வெளியிடும், நிறை அதிகமான அணுக்கருக்களின் ஆரம் அட்டவணை 7 - VI-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. ஆரங்களின் மதிப்பு $r_o = R_o A^{\frac{1}{3}} \times 10^{-13}$ செ.மீ. என்ற வாய்பாட்டுப்படி அமைந்துள்ளன. இதில் R_o என்பது 1·53-க்குச் சமமான ஒரு மாறிலி; A என்பது அணு எடை. அணுக்கருவின் ஆரம் அணு எடையின் கன மூலத்திற்கு (Cubic root) நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.

8. பீட்டாத் துகள்களும் அவற்றின் சிதைவும்

இயற்கை மற்றும் செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள் களிலிருந்து வெளிப்படும் பீட்டாத் துகள்களின் பண்புகளைப் பற்றிய ஆய்வுகளால் அணுக்கருக்களின் அமைப்பைப் பற்றியும் அவற்றின் பண்புகளைப் பற்றியும் பல உண்மைகள் தெரிந்துள்ளன. β துகள்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளும் தொடக்கத்தில் யுரேனியம், தோரியம், ஆக்டினியம் வரிசைகளின் உருமாற்றங்களைப் பற்றியே இருந்தன. ஆனல், தற்போது β துகள் வெளிப்படுவதிலிருந்து அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள், சிதைவு இடநிலை விளக்கங்கள் ஆகியவற்றைப் பற்றிக் கிடைக்கும் உண்மைகள் ஆராயப்படுகின்றன. பல நியூக்ளைடுகள் α துகளை வெளிப்படுத்திச் சிதைவுறுவதைவிட எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுதல், பாசிட்ரான் வெளிப்படுதல், சுழல் பாதை எலெக்ட்ரானைக் கவர்தல் ஆகிய நிகழ்ச்சிகளால் அதிகமாகச் சிதைவுறுகின்றன. β சிதைவு முறையிலிருந்து அதிக நிறையுள்ள அணுக்கரு வகைகளின் பல உண்மைகள் தெரிய வந்துள்ளன. β கதிர்வீச்சுப் பற்றிய பகுப்பாய்வு அணுக்கரு மாலையியலில் மிக முக்கியமானதாகும்.

வெளிப்படும் துகள்களின் ஆற்றல் மாலைகளைப் பொறுத்த வரையில், α துகள் வெளிப்படுதலிலிருந்து β துகள் வெளிப்படுதல் மாறுபட்டுள்ளது. ஓர் அணுக்கருவின் புறத் தூண்டுதலற்ற β சிதைவின் சிறப்பான பண்பு, வெளிப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் தொடர்ச்சியான ஆற்றல் பகிர்வேயாகும். ஆனல், α துகள்கள் வெளிப்படும்போது வரிமாலைகள்தாம் (line spectra) உண்டாகின்றன. இந்தத் தொடர்ச்சியான ஆற்றல் பகிர்வு பல கடுமையான சிக்கல்களைக் கொள்கையளவில் உண்டாக்கியது. பல புதிய கருத்துகளைக்கொண்டு இந்தச் சிக்கல்களை விடுவிக்க முடிந்தது.

β துகள்களின் திசைவேகமும் ஆற்றலும்

β துகள்களின் திசைவேகம் அல்லது உந்தம் ஒரு காந்தப் புலத்தில் அவற்றின் பாதைக்கு ஏற்படும் விலகலைக்கொண்டு அளவிடப்படுகிறது. α துகள்களுக்குப் பயன்படுத்தும் "அரை வட்டக் குவிக்கும் காந்த நிறமாலை வரைவி" (semi circular focussing magnetic spectrograph) β துகள்களுக்கும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. α துகள், β துகள் இவற்றின் பண்புகள் மாறுபட்டுள்ளதால், இக் கருவிகளின் அமைப்புகளும் தேவைக்குத் தக்கவாறு மாறியுள்ளன. β துகள்களின் e/m மதிப்பு α துகள்களினுடையதைவிட அதிகமாக இருப்பதால், β துகள்களை காந்தப்புலத்தினுள் விலகலடையச் செய்ய வலிமை குறைந்த காந்தப்புலங்களே போதுமானவை. α துகள்களுக்குத் தேவையான 10,000 காஸ் காந்தப்புலத்திற்குப் பதிலாக 1000 காஸ் அல்லது அதைவிடக் குறைவான காந்தப் புலமே போதுமானது. தற்போதைய கருவிகளில் தகுந்த, ஒருபடித்தானதல்லாத (in homogeneous) அல்லது 'வடிவாக்கப் பட்ட' (shaped) புலம் துகள்களைக் குவிக்கப் பயன்படுகிறது. இக் கருவிகளால் β துகள்களின் திசைவேகங்கள் மிகத் துல்லியமாக அளவிடப்படுகின்றன; அதிலிருந்து துகள்களின் ஆற்றல்கள் கணக்கிடப்படுகின்றன.

இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து வெளிப்படும் β துகள்களின் திசைவேகம் ஒளியின் திசைவேகத்தில் 0·99 பகுதி என்று ஆரம்ப காலப் பரிசோதனைகளில் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. பொதுவாக, β துகள்களின் ஆற்றல்கள் கதிரியக்க நியூக்ளைடுகளிலிருந்து வரும் α துகள்களின் ஆற்றல்களைவிட மிகச்சிறியது. β துகள்களில் பெரும்பான்மையானவை 4 Mev ஆற்றலைவிடக் குறைவான ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன. α துகள்கள் யாவும் 4 Mev ஆற்றலைவிட அதிகமான ஆற்றலையே பெற்றுள்ளன. β துகள் மிகக் குறைந்த நிறை பெற்றிருப்பதால், அதே அளவு இயக்க ஆற்றல் பெற்றுள்ள α துகளைவிட மிக அதிக வேகமாகச் செல்லும். 4 Mev ஆற்றல் பெற்றுள்ள α துகள் ஒளியின் வேகத்தில் 1/20 பகுதி வேகத்தில் செல்லும்; ஆனால், அதே ஆற்றலுள்ள β துகள் 0·995 ஒளிவேகத்தில் செல்லும்.

β துகள்கள் அதிகத் திசைவேகம் பெற்றுள்ளதால், அவற்றைச் சார்புக் கொள்கைப்படி கையாள வேண்டும். ஆகவே, அவற்றின் திசைவேகத்திற்கும் இயக்க ஆற்றலுக்கு

மான சமன்பாடுகள் α துகள்களுக்கான சமன்பாடுகளை ஒத்துள்ளன. அவையாவன :

$$\nu = Hr \frac{e}{m_0} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad —(1)$$

$$T = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] \qquad —(2)$$

இவற்றில் m_0 என்பது எலெக்ட்ரானின் அமைதி நிலை நிறையையும், e என்பது எலெக்ட்ரானிய மின்னூட்டத்தையும் குறிக்கும். Hr என்பது காந்த இறுக்கம் (magnetic rigidity) இந்தச் சமன்பாடுகளில் Hr, T ஆகியவற்றை ν/c என்ற விகிதத்தின் சார்பாக எழுதுவது மரபு. எனவே, சமன்பாடு (1),

$$\frac{\nu}{c} = Hr \frac{e}{m_0 c} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad —(3)$$

இதில் $\frac{e}{m_0} = 1{\cdot}75888 \times 10^7$ emv / கிராம்.

மேலும், ஒளியின் திசைவேகம் $C = 2{\cdot}99793 \times 10^{10}$ செ.மீ./செக.

ஆகவே, $Hr\ (\text{காஸ்-செ.மீ}) = \frac{m_0 c}{e} \frac{\nu}{c} \left(1 = \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$

$$= 1704{\cdot}5 \frac{\nu}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \qquad —(4)$$

$m_0 c^2$ என்பது எலெக்ட்ரானின் அமைதிநிலையைச் சார்ந்த ஆற்றல். அதன் அளவு 0·5110 Mev. ஆகவே, சமன்பாடு (2) படி,

$$\text{இயக்க ஆற்றல் } T = 0{\cdot}511 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\nu^2}{c^2}}} - 1 \right] \qquad —(5)$$

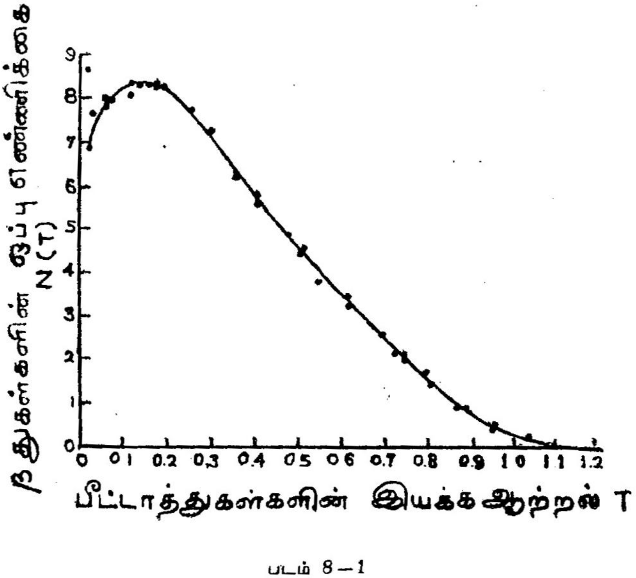
அட்டவணை 8—I-ல் ν/c-ன் வெவ்வேறு அளவுகளுக்கான Hr, T ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 8-I

பீட்டாத் துகள்களின் திசைவேகச் சார்பாக காந்த இறுக்கமும் இயக்க ஆற்றலும்.

திசை வேகம் γ/c	காந்த இயக்கம் Hr (காஸ்—செ.மீ.)	இயக்க ஆற்றல் T : Mev.
0	0	0
0·10	171·3	0·00258
0·20	347·9	0·01054
0·30	536·0	0·02468
0·40	743·9	0·04655
0·50	984·1	0·07905
0·60	1278·0	0·1278
0·70	1671·0	0·2045
0·80	2273·0	0·3407
0·90	3519·0	0·6613
0·92	4001·1	0·7928
0·94	4696·0	0·9868
0·96	5844·0	1·314
0·98	8394·0	2·057
0·99	11960·0	3·111
0·995	16980·0	4·605
0·996	19000·0	5·208
0·998	26910·0	7·573
0·999	38085·0	10·92

ஒரு கதிரியக்க நியூக்ளீயிலிருந்து வெளிப்படும் β துகள்கள் (எலெக்ட்ரான்கள்) காந்த நிறமாலைமானியினால் பகுப்பாய்வு செய்யப்படும்போது கிடைக்கும் முடிவுகள் α துகள்களின் முடிவுகளைவிடச் சிக்கலானவையாக உள்ளன. β துகள்களை காந்தப்புலத்தில் விலகச் செய்தபிறகு ஒரு புகைப்படத் தட்டின் மேல் விழும்படி செய்தால், புகைப்படத் தட்டில் ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவு வரை மூட்டம் (fogging) ஏற்படுகிறது. அதன் பிறகு இந்த மூட்டம், β துகளை வெளிவிடும் நியூக்ளைடைப் பொறுத்து ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் முடிவடைகிறது. இந்த மூட்டம் தொடர்ச்சியாக உள்ளது. ஆனால், புகைப்படத் தட்டின்மேல் சீரற்ற செறிவுடன் உள்ளது. இதற்கு β துகள்களின் தொடர்ச்சியான முதன்மை மாலை (Primary spectrum) என்று பெயர். இந்தத் தொடர் முதன்மை மாலையுடன் புகைப் படத்தட்டில் சில சமயங்களில் மிகத் தெளிவான பல வரிகளும் காணப்படுகின்றன. இந்தத் தெளிவான வரிகளின் நிலைகள்



படம் 8—1

RaE-ன் பீட்டாத் துகள் ஆற்றல் தொடர்மாலை.

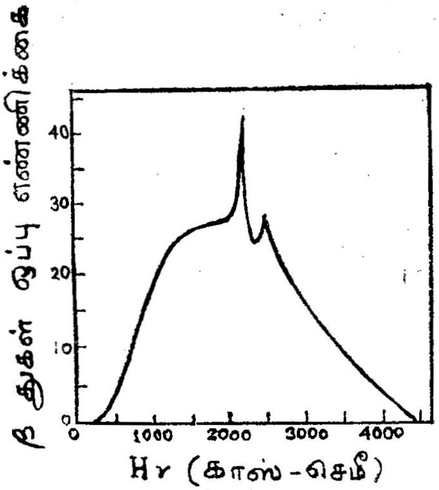
β துகள்களை வெளிவிடும் பொருள்களின் தனித்தன்மையைப் பொறுத்துள்ளன. இந்த வரிகள் இரண்டாம் நிலை மாலை (secondary spectrum) அல்லது வரிமாலை எனப்படுகின்றன. இவை

பல பொருள்களுக்கு உண்டாகின்றன; எனினும், எல்லா β துகள் வெளிவிடு பொருள்களுக்கும் உண்டாவதில்லை. தொடர்மாலை இருப்பதால், புகைப்படத்தட்டில் உண்டாகும் மூட்டத்திலிருந்து வெவ்வேறு ஆற்றல்கள் கொண்ட β துகள்களின் எண்ணிக்கையை நிர்ணயிக்க முடிவதில்லை.

β துகள்களைக் கண்டுணர ஒரு கைகர் எண்ணியைப் பயன்படுத்தி ஒரு திசைவேகப் பகிர்வு வளைகோடு அல்லது ஆற்றல் பகிர்வு வளைகோடு வரையலாம். இந்த அமைப்பு உள்ள கருவிக்கு நிறமாலைமானி (Spectrometer) என்று பெயர். கைகர் எண்ணி நிலையாக வைக்கப்பட்டு (அதாவது r-ன் மதிப்பு மாறிலியாக, காந்தப்புலம் மாற்றப்படுகிறது. ஓரலகு நேரத்தில் H-ன் வெவ்வேறு அளவுகளுக்கு எண்ணியை அடையும் β துகள்களின் எண்ணிக்கை கணக்கிடப்படுகிறது. H-ன் வெவ்வேறான ஒவ்வோர் அளவும் Hr – க்கு வெவ்வேறு மதிப்புகளைக் கொடுக்கிறது. ஆகவே, இயக்க ஆற்றலின் அளவுகளும் மாறுகின்றன. இப்போது வெவ்வேறு இயக்க ஆற்றல்களுக்கான β துகள்களின் எண்ணிக்கை கிடைக்கிறது. இந்த இரண்டு அளவுகளுக்கும் RaE-க்கு வரையப்பட்ட β துகள் ஆற்றல்களின் தொடர்மாலை படம் 8 - 1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் (RaE-க்கு) வரிமாலை எதுவும் உண்டாவதில்லை. β துகளின் பெரும அளவு ஆற்றல் 1·17 Mev. தொடர்மாலையுடன் வரிமாலையும் உண்டாகும்போது, தொடர்ச்சியான ஆற்றல் பகிர்வு வளைகோட்டின்மேல் அடுக்கி வைக்கப்பட்ட தெளிவான முகடுகள் படம் 8 - 2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போலத் தோன்றுகின்றன. படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள RaE-ன் β கதிர்மாலை, தொடர்மாலையின் பெரும்பான்மையான சிறப்புப் பண்புகளைக் கொண்டுள்ளது.

ஒவ்வொரு β மாலைக்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட பெரும அளவு உள்ளது. இதன் உயரமும் நிலையும் துகளை வெளிப்படுத்தும் அணுக்கருவைப் பொறுத்தது. மேலும், ஒரு நியூக்ளைடு வெளிப்படுத்தும் துகள்களின் ஆற்றலுக்கு ஓர் உச்ச அளவு உள்ளது. தொடர் மாலையின் இந்த உச்ச அளவு அல்லது முனைப்புள்ளி, வெவ்வேறு நியூக்ளைடுகளுக்கு வெவ்வேறு மதிப்புக்கொண்டதாய் இருக்கும். குறைந்த ஆற்றல் துகள்களுக்குச் சரியான அளவீடுகளை எடுப்பது கடினமாதலால், வளைகோட்டின் குறைந்த ஆற்றல் பகுதியில் அதன் வடிவம் உறுதியாகத் தெரியவில்லை. இந்தத் தொடர்மாலைப் பண்புகள் இயற்கை மற்றும் செயற்கையான β கதிர் வெளிவிடு பொருள்களுக்கும்

வெளிப்படும் எலெக்ட்ரானுயிருப்பினும் பாசிட்ரானுயிருப்பினும் காணப்படுகின்றன.

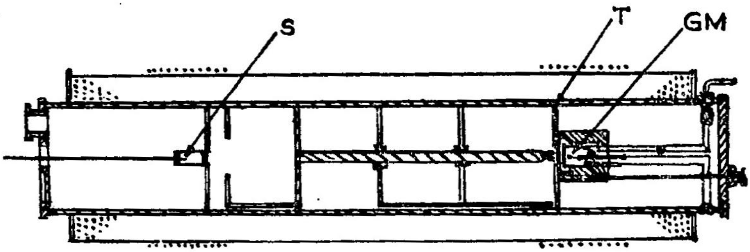


படம் 8—2

Au^{198}-ன் பீட்டாத் துகள் வரிமாலை

β கதிர்களைப் பகுத்தாயும் கருவிகளில் இன்னொன்று 'வரிச்சுருள் காந்தநிறமாலைமானி' (Solenoidal magnetic spectrometer) ஆகும். இது காந்த வில்லை நிறமாலைமானியின் (magnetic lens spectrometer) ஒரு வகையாகும். இதன் அமைப்பு படம் 8 - 3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு நீளமான வரிச்சுருளின் அச்சின் ஒரு நுனியின் அருகில் β கதிர்வீச்சின் தோற்றுவாய் வைக்கப்பட்டுள்ளது. மறு நுனியில், தோற்றுவாயிலிருந்து சுமார் 90 செ.மீ. தொலைவில் மெல்லிய சுவர்களையுடைய ஒரு கைகர்—முல்லர் எண்ணி பொருத்தப் பட்டுள்ளது. வரிச்சுருள், அதன் அச்சிற்கு இணையான திசையில் ஒருபடித்தான காந்தப்புலம் ஒன்றை உண்டாக்குகிறது. இந்தக் காந்தப்புலம் β துகள்களைத் தட்டுகளாலும் வளையங்களாலும் வரையறுக்கப்பட்ட திருகு சுழலான (helical) பாதைகளின் வழியாகச் செல்லவைக்கிறது. இந்தத் தட்டுகளும் வளையங்களும் துகள்களின் பாதைகளைத் தடுத்து மாற்றும் அமைப்புகளாகச் செயற்படுகின்றன. வரிச்சுருளின் மின்னோட்டத்தைச் சரிசெய்வதால், காந்தப்

புலம் மாற்றப்பட்டுத் தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிப்படும் β துகள்கள் திருகுசுழல் வட்டத்தை ஒரு சுற்றுச் சுற்றி எண்ணியை அடையும்படி குவிக்கப்படுகின்றன. காந்தப் புலத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட வலிமைக்கு β துகள்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட திசைவேகம் உடைய துகள்கள் மட்டும் எண்ணியை அடையும். காந்தப்புலத்தின் வலிமையையும், ஆய்கருவியின் பரிமாணங்களையும் கொண்டு துகள்களின் திசைவேகம் கணக்கிடப்படுகிறது. நடைமுறையில் இந்த மாதிரிக் கருவிகள்,



படம் 8—3

காந்தவில்லை நிறமாலைமானியின் அமைப்புப் படம்.

GM - கைகர்-முல்லர் எண்ணி ; **S** – தோற்றுவாய்;

T - திறந்து மூடும் அமைப்பு.

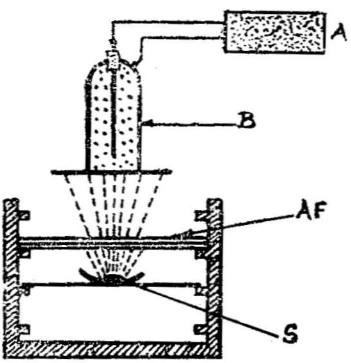
தெரிந்த திசைவேகம் கொண்ட எலெக்ட்ரான்களைக்கொண்டு வரையளவுபடுத்தப்பட்டு, வரிச்சுருள் வழியாகச் செலுத்தப்படும் மின்னோட்ட அளவைக்கொண்டே எண்ணியை அடையும் β துகள்களின் திசைவேகம் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இம் மாதிரி வெவ்வேறு திசைவேகங்களைக்கொண்ட β துகள்களின் ஒத்த எண்ணிக்கையைக் கண்டுபிடிக்க முடியும்.

மேற்கூறிய கருவி ஒரு நீளமான, சீரான காந்தப்புலத்தைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆகவே, அதற்கு 'நீண்ட வில்லை காந்த நிறமாலைமானி' (Long lens magnetic spectrometer) என்றும் பெயருண்டு. உண்மையில் சீரான காந்தப்புலத்தை உண்டாக்குவது கடினமானதால், 'குறுகிய வில்லை காந்த நிறமாலைமானி' எனும் கருவி பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த அமைப்பில் காந்தப்புலம் சீரானது அல்ல. அச்சின் மேலுள்ள காந்தப்புல வலிமையைவிட அச்சின் அருகில் அச்சைச் சுற்றியுள்ள பகுதியில் வலிமை அதிகமாக இருக்கும், அல்லது அச்சின் வழியாக அதன் நீளத்தில் வலிமை மாறியிருக்கும். தகுந்த வரையளவீடு

செய்தல் (Calibrate) மூலம் β துகள்களின் திசைவேகப் பகிர்வும் ஆற்றல் பகிர்வும் பெறப்படுகின்றன.

உட்கவர்தலும் நெடுக்கமும்

β துகள்களின் ஆற்றல்களை அவை மற்ற பொருள்களால் உட்கவரப்படுவதை அளவிட்டு நிர்ணயிக்கலாம். β துகள்கள், α துகள்களைவிடப் பல மடங்கு ஊடுருவும் தன்மை பெற்றவை. ஆகவே, இந்த இரண்டு துகள்களுக்கும் உட்கவரப்படுவதை அளவிடும் முறைகளில் பெருத்த வேற்றுமைகள் உள்ளன. இயக்க ஆற்றல் 3 Mev கொண்ட ஒரு α துகள் படித்தரக் காற்றில் 2·8 செ.மீ. நெடுக்கம் கொண்டு, அதன் 1 மி. மீ. பாதையில் 4,000 அயனி இரட்டைகளை உண்டாக்கக்கூடியதாக உள்ளது. ஆனால், அதே 3 Mev இயக்க ஆற்றல் கொண்ட ஒரு β துகள் காற்றில் 1000 செ. மீ. நெடுக்கம் கொண்டதாகவும், அதன் 1 மி. மீ. பாதையில் 4 அயனி இரட்டைகளை மட்டுமே உண்டாக்கக்கூடியதாகவும் உள்ளது. எனவே, காற்றை β துகள்களை உட்கவரும் ஓர் ஊடகமாகப் பயன்படுத்த முடியாது. இருப்பினும், β துகள்கள், தேவைப்படும் அளவு ஊடுருவும் தன்மை பெற்றிருப்பதால் அவற்றை உட்கவரத் திடப்பொருள்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. தங்கமும், மைகாவும் சில சமயங்களில் பயன் படுத்தப்பட்டாலும் அலுமினியத் தகடுகள்தாம் β துகள்களை உட்கவரப் பெரும்பாலும் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.



படம் 8—4

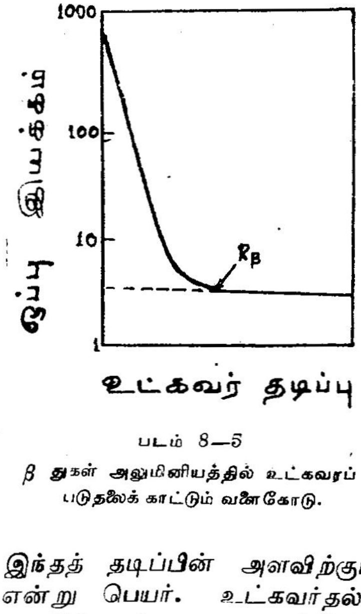
β துகள் உட்கவர்தலை விளக்கும் பரிசோதனை அமைப்பு.

S– தோற்றுவாய்; AF—உட்கவர் இழைகள்; B—பீட்டாத் துகள் எண்ணி; A—பெருக்கி.

பரிசோதனைகளில் உட்கவரும் தகடுகள், β துகளின் தோற்றுவாய்க்கும் மெல்லிய சன்னலைக்கொண்ட கண்டுணர் கருவிக்கும் நடுவில் வைக்கப்படுகின்றன. கண்டுணர் கருவி வழக்கமாக கைகர் எண்ணியாகவோ அல்லது அயனிக்

கலமாகவோ உள்ளது. எண்ணிக்கை வீதம், உட்கவரும் பொருளின் தடிப்பின் ஒரு சார்பாகக் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட பரிசோதனை அமைப்பு படம் 8—4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. தொடர்மாலையை உண்டாக்கும் துகள்களின் உட்கவர்தல் வளைகோடு, படம் 8—5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எண்ணிக்கை வீதம், லாகரித அளவுத்திட்டத்தில் குறிக்கப்படும்போது, உட்கவரும் பொருளின் அதிகமான தடிப்பு பின்னத்திற்கு நேர்கோட்டு வீதத்தில் குறைகிறது. அதாவது, β துகள்களின் எண்ணிக்கை, உட்கவரும் பொருளின் தடிப்பைப் பொறுத்து e-ன் மடியாகக் குறைகிறது. ஆகவே, β துகள் உட்கவரப்படுவதை,

$$A(x) = A_0 e^{-\mu x}$$



படம் 8—5

β துகள் அலுமினியத்தில் உட்கவரப்படுதலைக் காட்டும் வளைகோடு.

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம். இதில் A_0 என்பது உட்கவரும் பொருள் இல்லாதபோது உண்டாகும் எண்ணிக்கை வீதத்தையும் அதாவது, கதிரியக்க அளவையும், A (x) என்பது x என்ற தடிப்பினுள் துகள்கள் சென்றபின் உள்ள இயக்கத்தின் அளவையும், μ என்பது உட்கவர் எண்ணையும் குறிப்பிடுகின்றன. β துகள்களில் இயக்கம், உட்கவரும் பொருளின் தடிப்பு மிக அதிகமானாலுங்கூட சுழி ஆவதில்லை. நடைமுறையில் ஒரு குறிப்பிட்ட தடிப்பில் அது ஒரு மாறிலியாக உள்ளது. இந்தத் தடிப்பின் அளவிற்குப் ‘பின்னணி’ (background) என்று பெயர். உட்கவர்தல் வளைகோடு அதன் நுனிக்கு அருகில் e-ன் மடி உருவத்திலிருந்து விலகிச் செல்கிறது. அந்த வளைகோடு அதன் ‘பின்னணி’யைச் சந்திக்கும் புள்ளி, β துகள்களின் நெடுக்கம் (R_β) எனப்படுகிறது.

உட்கவர்தல் வளைகோட்டின் e-ன் மடி உருவம் தற்செயலானது. அதில் β துகள்களின் தொடர்ச்சியான ஆற்றல் பகிர்வும், உட்கவரும் பொருளால் உண்டாக்கப்படும் துகள்களின் சிதறடிப்பும் அடங்கியுள்ளன. நெடுக்கம் R_β

என்பது வெளிப்படுத்தப்படும் துள்ககளில் மிக அதிக ஆற்றல் கொண்ட துகள் கடக்கும் தொலைவாகும். இது தொடர் மாலையின் முனைப் புள்ளியின் ஆற்றலைச் சார்ந்தது. வெவ்வேறு உட்கவரும் பொருள்களில் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களின் நெடுக்கம் ஆற்றல் வளைகோடுகளை வரையமுடியும். β நிறமாலைகளின் முனைப்புள்ளி ஆற்றல்களை உட்கவர்தல் அளவீடுகளால் நிர்ணயிக்க முடியும். உட்கவர்தல் முறையில் கிடைக்கும் முடிவுகள், காந்த நிறமாலைமானியில் கிடைக்கும் முடிவுகளைப்போல அவ்வளவு துல்லியமானவை அல்ல. இருப்பினும் இம் முறை எளிதானதாகவும், விரைவானதாகவும் உள்ளது.

உட்கவர்தல் அளவீடுகளில் தடிப்புகள், கிராம்/சதுர செ.மீ. அல்லது மில்லிகிராம்/சதுர செ.மீ. என்ற அலகுகளால் குறிக்கப்படுகின்றன. இந்தப் பரப்புகள் உட்கவரும் பொருளின் பரப்பாகும். உண்மையான தடிப்பை அடர்த்தியால் பெருக்கினால் கிடைக்கும் 'பரப்படர்த்தி' (Superficial density) தடிப்பின் ஓர் அளவாகப் பயன்படுகிறது. இதனால் நடைமுறையில் பல நன்மைகள் உள்ளன. மிக மெல்லிய தகடுகளின் தடிப்பை அளப்பது மிகக் கடினம். ஆனால், அவற்றின் எடையையும் குறுக்குப் பரப்பையும் எளிதில் அளக்கலாம். எடையைக் குறுக்குப் பரப்பால் வகுத்தால் கிடைக்கும் அளவு, அடர்த்தியையும் தடிப்பையும் பெருக்கினால் கிடைக்கும் அளவாகும். மேலும், உட்கவரும் பொருளை அதன் அடர்த்தி, தடிப்பு ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனைக் குறிப்பிட்டால், துகளின் நெடுக்கம் உட்கவரும் பொருளின் தன்மைகளைப் பொறுத்து இருப்பதில்லை. இந்த முடிவு, ஒரு β துகளின் நெடுக்கம், அதன் தொடக்க ஆற்றலையும், உட்கவரும் பொருளின் வழியாகத் துகள் செல்லும்போது அது மோதும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும் பொறுத்தது என்ற உண்மையிலிருந்து பெறப்படுகிறது. துகள் மோதலுறும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை உட்கவரும் பொருளின் 'எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி' (electron density) அல்லது ஓரலகு நிறையிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து அமையும். ஆகவே, ஒரு தனிமம் அதன் வழியாகச் செல்லும் β துகள்களை நிறுத்தும் திறமை, அந்தத் தனிமத்தின் அணு எண்ணுக்கும் நிறை எண்ணுக்கும் உள்ள விகிதத்தைப் (அதாவது Z/A) பொறுத்தது. எடை குறைவான தனிமத்திலிருந்து எடை அதிகமான தனிமத்திற்குச் செல்லும் போது இந்த விகிதத்தின் மதிப்பு குறைந்தாலும், துகள்களை

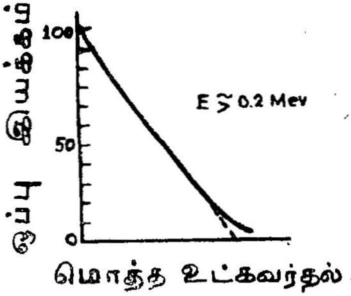
நிறுத்தும் தடிப்பு இதனால் அவ்வளவாக மாறுவதில்லை. அலுமினியத்தில் ($Z = 13$; $A = 27$; $Z/A = 0{\cdot}48$) 1Mev ஆற்றலுள்ள β துகளின் நெடுக்கம் சுமார் 400 மி. கிராம்/ச.செ.மீ. தங்கத்தில் ($Z=79$; $A=197$; $Z/A=0{\cdot}40$) அதே 1 Mev ஆற்றலுள்ள β துகளின் நெடுக்கம் சுமார் 500 மி. கி./ச. செ. மீ. எனவே, அளவுகளில் அவ்வளவு மாறுதலில்லை என்பது தெரிகிறது.

இதுவரையில் பார்த்த முறைகள் β^- துகள்களுக்கும் (எலெக்ட்ரான்) $\beta+$ துகள்களுக்கும் (பாசிட்ரான்) பொருந்தும். β^+ கதிர்வீச்சின் உட்கவர்தல் வளைகோட்டின் வடிவம் β^- கதிர்வீச்சின் வளைகோட்டு வடிவத்தையே ஒத்துள்ளது. முன்னணிகளில் மட்டும் சில சிறிய வேற்றுமைகள் உள்ளன. இதற்குத் தேவையான திருத்தங்களைச் செய்து β^- துகள்களுக்கான முறைகளைக்கொண்ட β^+ துகள்களுக்கும் நெடுக்கங்களைக் கண்டுபிடிக்க முடியும்.

ஆற்றல் தொடர்மாலைகளை உண்டாக்கும் β துகள்களினது உட்கவரப்படுதலிலிருந்து ஒற்றை ஆற்றல் (mono energetic) β துகள்களினது உட்கவரப்படுதல் சிறிதளவு வேறுபட்டது. β சிதைவில் காணப்படும் தனித்த வரிமாலையில் ஒரு வரியை உண்டாக்கும் துகள்கள், ஒற்றை ஆற்றல் கொண்ட β^- துகள்களாகும். இவற்றின் உட்கவர்தல் நடைமுறையில் மிக முக்கியமானதாகும். ஆற்றல் 0·2 Mev அளவைவிட அதிகமாக உள்ள ஒற்றை ஆற்றல் எலெக்ட்ரான்களின் உட்கவரப்படுதல் சுமாராக நேர்கோடாக உள்ளது. (படம் 8-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.) எண்ணிக்கை வீதம், உட்கவரும் பொருளின் தடிப்பு ஆகியவற்றிற்கான வரைபடம் சாதாரண வரைதாளில் வரையப்பட்டால், இறுதியில் ஒரு சிறு வளைவுடன் (tail) கூடிய ஒரு சுமாரான நேர்கோடாகக் காணப்படுகிறது. வளைகோட்டின் நேர்பகுதியை நீட்டினால் அது தடிப்பு அச்சை வெட்டும் புள்ளியின் மதிப்பு 'பயனுறு நெடுக்கம்' (effective range) ஆகும். 0·2 Mev அளவைவிடக் குறைவான ஒற்றை ஆற்றல் எலெக்ட்ரான்களுக்கு, ஆற்றல் குறையக் குறைய அவற்றின் உட்கவர்தல் வளைகோடு நேர்கோட்டிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது. ஆகவே, அவற்றின் நெடுக்கங்களை உட்கவர்தல் முறைகளில் கண்டுபிடிக்க முடிவதில்லை.

பொருள்களின் வழியாக β துகள்கள் செல்லுதலின் விளைவுகள் α துகள்கள் செல்லும் விளைவுகளைவிட அதிகச்

சிக்கலானவை. β துகளின் மிகக்குறைவான நிறையும், மிக அதிகமான வேகமுமே இதற்கான காரணங்களாகும். ஒரு β துகள், அணுவின் அமைப்பிலுள்ள எலெக்ட்ரானுடன் ஏற்படும் ஒரே மோதலினால் தன்னுடைய ஆற்றலின் பெரும் பகுதியை இழக்கலாம்; இதன் விளைவாக, கனமான துகள் களினதைவிட β துகள்களின் அலைந்து திரிதல் அதிகமாக உள்ளது. அணுக்கருக்களால் α துகள்களைவிட β துகள்கள் மிக எளிதாகச் சிதறடிக்கப்படு கின்றன. அதனால் β துகள் களின் பாதைகள் நேர்கோடாக அமைவதில்லை. ஆகவே, தொடக் கத்தில் β துகள் கற்றை ஒன்று, ஒற்றை ஆற்றல் கொண்டதா யிருந்தாலுங்கூட, ஒரே தடிப் புள்ள உட்கவரும் பொருளின் வழியாகச் செல்லும் துகள்களுக்குப் பல வெவ்வேறு மாறுபட்ட நீளமுள்ள பாதைகள் கிடைக்கின்றன. எனவே, α துகள்கள் அல்லது புரோட்டான்களுக்குப் போல, β துகள்கள் அல்லது எலெக்ட்ரான்களுக்கு நெடுக்கம் என்பது சரியாக வரை யறுக்கப்பட்ட அளவல்ல.



படம் 8—6

ஒற்றை ஆற்றல் β துகள் உட்கவர்தலை விளக்கும் வரைகோடு

கொள்கைரீதியாக ஓர் எலெக்ட்ரான் அதன் ஓரலகு பாதை நீளத்தில் இழக்கும் ஆற்றலைக் கணக்கிட முடியும். உட்கவரும் பொருளின் அணுக்கள் β துகள்களால் அயனி யாக்கப்படுவதால், துகள்கள் இழக்கும் ஆற்றலுக்கு ஒரு சமன் பாடு பெறப்பட்டுள்ளது. சார்புக் கொள்கைப்படி திசை வேகத்தின் விளைவுகளையும் கருதவேண்டுமாதலால், α துகள் களுக்கான சமன்பாடுகளைவிட β துகள்களுக்கான சமன்பாடு கள் மிகச்சிக்கலானவை. β துகள்களின் ஆற்றல் இழப்பு, துகள் களின் ஆற்றலையும், உட்கவரும் தனிமத்தின் அணு எண்ணையும் பொறுத்தது எனக் கொள்கை ரீதியாகவும் கருதப்படுகிறது.

அதிக ஆற்றலுள்ள β துகள்களின் ஆற்றல் இழப்பிற்கு இன்னொரு கூடுதலான காரணமும் உள்ளது. ஒரு β துகள் அல்லது எலெக்ட்ரான், அணுக்கருவின் மின்புலத்தினுள் செல்லும்போது, அது கதிர்வீச்சினால் ஆற்றலை இழக்கிறது.

இந்த ஆற்றல், தொடர்-எக்ஸ் கதிர் நிறமாலையாகத் (continuous X-ray spectrum) தோன்றுகிறது. இதற்கு 'பிரெம்ஸ்ட்ராலங் அல்லது தடைபடு கதிர் வீச்சு' (Bremmsstrahlung or braking radiation) என்று பெயர். ஓரலகு பாதை நீளத்தைக் கடக்கும் போது கதிர்வீச்சினுல் துகள் இழக்கும் ஆற்றலை $(dT/dx)_{rad}$ என்றும், அயனியாக்கத்தினுல் இழக்கும் ஆற்றலை $(dT/dx)_{ion}$ என்றும் குறிப்பிடலாம். இந்த இரண்டு ஆற்றல் இழப்புகளின் விகிதம்,

$$\frac{(dT/dx)_{rad}}{(dT/dx)_{ion}} = \frac{TZ}{800}$$

இதில் T என்பது, β துகளின் இயக்க ஆற்றல். z என்பது, உட்கவரும் பொருளின் அணு எண். ஈயத்தைப் போன்ற (z = 82) கனமான பொருள்களில் 1 Mev ஆற்றலுள்ள துகளுக்குங்கூட கதிர்வீச்சினுல் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பு கணிசமானது. அலுமினியத்தில் (z = 13) இது சில சதவீதங்களேயாகும்.

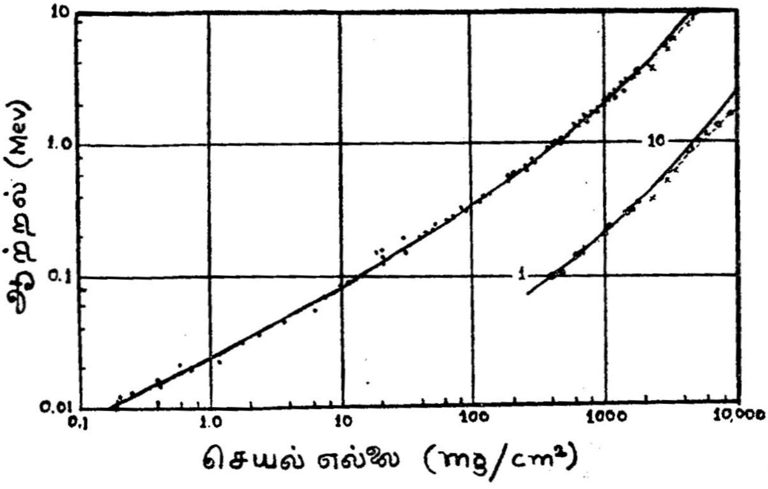
பொதுவாகப் பருப்பொருளுக்கும் β துகள்களுக்கும இடையேயுள்ள இடையீடு (interaction) α துகளினதைவிடச் சிக்கலானதாயிருந்தாலும், வினை முறைகள் நன்கு விளங்குகின்றன. இதன் கொள்கைப்படியான முடிவுகளும் சோதனை முடிவுகளும் பெரிதும் ஒத்துள்ளன.

நெடுக்கம் — ஆற்றல் தொடர்புகள்

உட்கவர்தல் பரிசோதனைகளிலிருந்து β துகள்களின் நெடுக்கங்கள் தெரியும்போது, β கதிர்மாலையின் பெரும அளவு ஆற்றலைக் கண்டுபிடிக்க நெடுக்கம்—ஆற்றல் தொடர்பு ஒன்று பயன்படுத்தப்படுகிறது. அலுமினியத்திற்கான நெடுக்கம்—ஆற்றல் தொடர்பு நிர்ணயிக்கப்பட்டு அதை வரைபடமாகவோ அனுபவ சமன்பாடாகவோ காட்டமுடியும். அலுமினியத்தில் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்ட சில நியூக்ளைடுகளின் β துகள் ஆற்றல்களும் நெடுக்கங்களும் அட்டவணை 8-II-ல் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன.

இந்த அளவுகளுக்கான நெடுக்கம்—ஆற்றல் வளைகோடு படம் 8 - 7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தில் வெவ்வேறாகக் குறிக்கப்பட்ட புள்ளிகள் வெவ்வேறான முறைகளைக் கையாண்ட

வெவ்வேறு ஆய்வாளர்களுக்குக் கிடைத்த நெடுக்கங்களைக் காட்டுகின்றன. நெடுக்கத்திற்கும் ஆற்றலுக்கும் உள்ள



படம் 8—7

β துகள்களின் நெடுக்கம்—ஆற்றல் வளைகோடு

தொடர்பைக் கீழ்க்காணும் அனுபவ சமன்பாடுகளால் குறிப்பிடலாம்.

$$R = 412\ T_0^{\ 1 \cdot 265 - 0 \cdot 0954 \ln T_0}\ ; \quad T_0 > 2{\cdot}5 \text{ Mev.}$$

$$R = 530\ T_0 - 106\ ; \quad T_0 > 2{\cdot}5 \text{ Mev.}$$

இவற்றில் T_0 என்பது முனைப்புள்ளி ஆற்றலை Mev அலகிலும், R என்பது நெடுக்கத்தை மி.கி/ச.செ.மீ. அலகிலும் குறிக்கின்றன. முதல் சமன்பாடு 2·5 Mev-க்குக் குறைவாகவும், இரண்டாவது சமன்பாடு அதற்கு அதிகமாகவும் உள்ள முனைப்புள்ளி ஆற்றல்களுக்கு, பரிசோதனை முடிவுகளுடன் மிகவும் ஒத்துள்ளன. உட்கவர்தல் பரிசோதனையிலிருந்து ஒரு நெடுக்கம் தீர்மானிக்கப்பட்டால், அதன் ஆற்றலை வரைபடத்திலிருந்தோ அல்லது தகுந்த அனுபவ சமன்பாட்டிலிருந்தோ பெறலாம்.

அட்டவணை 8-II
பீட்டாத் துகள்களின் ஆற்றல்களும் நெடுக்கங்களும்

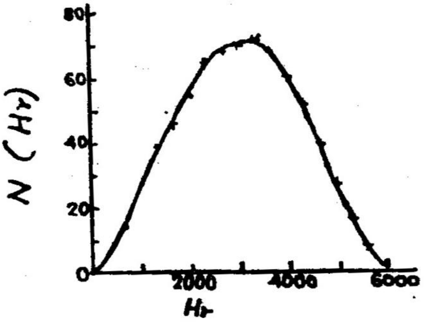
நியூக்ளைடு	முடிவுப் புள்ளி ஆற்றல் Mev	நெடுக்கம் மி. கி. / ச. செ. மீ.
Ra^{228}	0 053	6
Rb^{87}	0·13	20
Nb^{95}	0·146	30
Lu^{176}	0·22	48
Co^{60}	0·31	81
Zr^{95}	0·400	122
Be^{10}	0·555	181
I^{131}	0·600	213
Sb^{124}	0·65	254
Mn^{56}	0·73	277
Au^{198}	0·97	399
C^{11}	0·98	447
Ba^{140}	1·022	426
Mn^{56}	1·05	462
Cd^{115}	1·13	527
Bi^{210}	1·17	508
N^{13}	1·24	557
Na^{24}	1.39	601
Sr^{89}	1·50	741
P^{32}	1·71	810
Te^{129}	1·80	812
Mg^{27}	1·80	821
Mg^{27}	1·80	855
ஒரு படித்தான கதிர்கள்	2·00	966
Y^{90}	2·18	1065
Bi^{212}	2·25	1023
Rh^{106}	2·30	1080
Pa^{234}	2·32	1105
Sb^{124}	2·37	1220
As^{76}	2·56	1384
Rh^{104}	2·6	1198
Mn^{56}	2·86	1440
Cu^{62}	2·92	1440
Pr^{144}	3·07	1575
Rh^{106}	3·55	1770

பீட்டாத் துகள் மாலைகள்

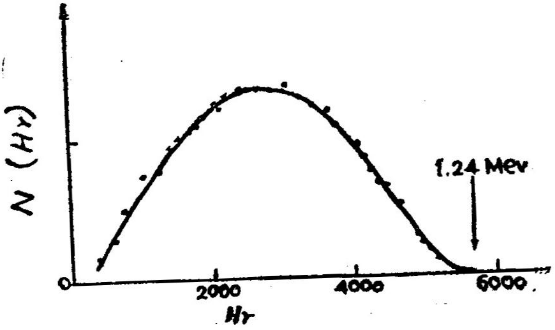
β துகள்களின் மாலைகள், அணுக்கரு இயற்பியலில் மிகவும் முக்கியமான புதிர்களைக் கிளப்பியுள்ளன. தொடர்மாலைகளை உண்டாக்கும் β துகள்கள் சிதைவின் முதன்மைத் துகள்களாகும். அணுவிலிருந்து அகநிலை மாற்ற முறையில் (internal conversion) வெளியே தள்ளப்படும் அணுக்கருவைச் சாராத எலெக்ட்ரான்களே, வரிமாலை அல்லது இரண்டாம் நிலை மாலையை உண்டாக்குகின்றன. கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலுள்ள ஓர் அணுக்கரு அதன் அணுவின் K, L, ... கூடுகளில் உள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கு ஆற்றலைக் கொடுத்துவிட்டோ அல்லது இரு அணுக்கரு ஆற்றல்களின் வேறுபாட்டுக்குச் சமமான $h\gamma$ அளவு ஆற்றலை γ கதிராக வெளிப்படுத்தியோ அதைவிடக் குறைவான ஆற்றல் கொண்ட அதே அணுக்கருவின் நிலைக்குப் புறத் தூண்டுதலின்றிச் செல்கிறது. வெளிப்படும் எலெக்ட்ரான்கள் $h\gamma - E_K$, $h\gamma - E_L$, ... அளவு இயக்க ஆற்றலுடன் உள்ளன. இங்கு E_K, E_L, ... என்பன K, L, ... கூடுகளில் அந்த எலெக்ட்ரான்கள் கொண்டுள்ள பிணைப்பாற்றலாகும். இது அகநிலை மாற்றம் என்று அழைக்கப்படுகிறது. சிறிது காலத்திற்கு, அணுக்கருவின் இடைநிலை மாறுதலின் ஆற்றல் முதலில் γ கதிர்வீச்சை வெளிப்படுத்துவதாகவும், அதன் பிறகு γ கதிர் அது செல்லும் எந்த அணுவிலிருந்தும் வெளிப் படுத்துவதுபோல இங்கும் ஓர் ஒளி எலெக்ட்ரானை வெளிப் படுத்துவதாகக் கருதப்பட்டது. இந்தக் கருத்து தவறு என்றும், இந்த அகநிலை மாற்ற நிகழ்ச்சி, அணுக்கரு அதைச் சுற்றியுள்ள எலெக்ட்ரான்களுடன் உண்டாக்கும் நேரடி இடையீட்டுச் செயல் உண்டாகிறது என்பதும் நிரூபிக்கப்பட்டது. எப்படியும் அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் மாறுவதில்லையாதலால், இந் நிகழ்ச்சி β சிதைவாகாது. ஆகவே, உண்டாகும் β வரிமாலை, γ கதிர்வீச்சு வெளிப்படுதலுடன் தொடர்புகொண்டதேயன்றி β சிதைவுடன் தொடர்பு கொண்டதல்ல.

இந்தக் காரணங்களால் 'β கதிர்மாலை', 'தொடர் β கதிர்மாலை' என்பன ஒரே பொருளுடையனவாகக் கருதப் படுகின்றன. காந்த நிறமாலை வரைவியில் காணப்படும் வரிகளை உண்டாக்கும் ஒற்றை ஆற்றல் எலெக்ட்ரான்களை இப்போது கருத வேண்டியதில்லை. β கதிர்மாலையின் சில மாதிரிகள் படம் 8 – 8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இப் படங்களில் X அச்சு காந்த முறுக்கான Hr-ஐயும், Hr-ன் ஓரலகு அளவில் கண்டுணரப்படும் β துகள்களின் எண்ணிக்கைக்கு

நேர்விகிதத்தை Y அச்சும் குறிக்கின்றன. Hr-ன் அளவு உந்தத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளதால், கிடைக்கும் வளைகோடுகள் உந்தம் — பகிர்வு வளைகோடுகள் ஆகும். Hr-ன் மதிப்புகளை ஆற்றல் மதிப்புகளாக மாற்றி இந்த வளைகோடுகளை ஆற்றல் — பகிர்வு வளைகோடுகளாக மாற்றலாம். உந்தம் — பகிர்வு வளைகோடுகளும் ஆற்றல் — பகிர்வு வளைகோடுகளின் பண்பையே பெற்றிருப்பதால் அவை அதிகமாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. ஏனெனில், அவையே பரிசோதனை முடிவுகளை நேரடியாகக் காட்டுகின்றன. இந்த இருவகை வளைகோடுகளுக் கிடையே உள்ள தொடர்பை RaE-க்கு வரையப்பட்ட



(a)

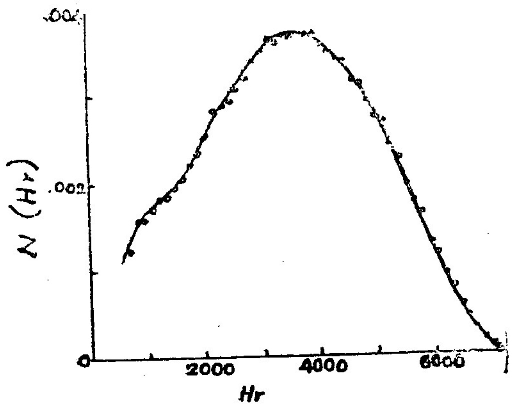


(b)

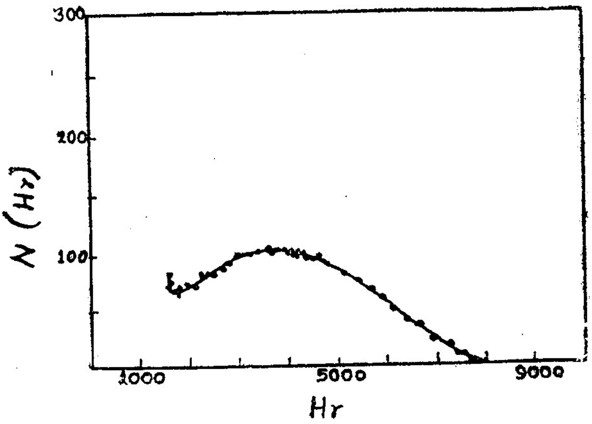
படம் 8—8.

தொடர் பீட்டாக் கதிர் மாலைகள்

(a) Na^{24} (b) N^{13}



(c)

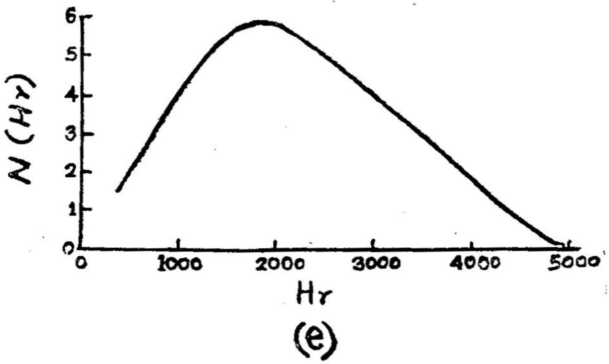


(d)

படம் 8—8

தொடர் பீட்டாக் கதிர் மாலைகள்

(c) P^{32} (d) In^{114}



படம் 8—8

தொடர் பீட்டாக் கதிர் மாலைகள்

(e) RaE.

படம் 8—1, 8—8e ஆகியவற்றை ஒப்பிட்டுத் தெரிந்து கொள்ளலாம். ஒவ்வொன்றிலும் வளைகோடு ஒரு பெரும அளவை அடைந்து பிறகு O-வுக்குக் குறைகிறது. இந்நிலையில் X அச்சில் உள்ள அளவு முனைப் புள்ளி ஆற்றலைக் கொடுக்கிறது.

β வெளிப்படுதலின் சில வகைகளில், ஒரே ஒரு தொடர்மாலை காணப்படுகிறது; அதனால் ஒரே ஒரு முனைப்புள்ளி ஆற்றல்தான் அவ் வகைகளுக்கு இருக்கும். அதற்குத் 'தனி மாலை' (simple spectrum) என்று பெயர். இது ஒரே வகை α துகளை வெளிவிடும் பொருளின் மாலையை ஒத்தது. படம் 8—8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவை யாவும் தனி மாலைகளே. β துகள்கள் வெளிப்படும்போது சில சமயங்களில் γ கதிர்களும் சேர்ந்து வெளிப்படுவது உண்டு. Na^{24} என்ற நியூக்ளைடு β துகள்கள், γ கதிர்கள் இரண்டையும் வெளிவிடுகிறது. N^{13} என்ற நியூக்ளைடு பாசிட்ரானை வெளிப்படுத்துவது (படம் 8—8a). அதன் முக்கிய அம்சங்களில் மற்ற தொடர் மாலைகளை ஒத்தே உள்ளது. படம் 8—8e-யிலுள்ள RaE ஓர் இயற்கைக் கதிரியக்க நியூக்ளைடு. படம் 8—8c-யிலுள்ள P^{32} மருத்துவத் துறையில் செல்வழி காட்டும் ஓரகத் தனிமம். படம் 8—8d-யில் In^{114} காட்டப்பட்டுள்ளது. Na^{24}, Na^{13}, P^{32}, In^{114}, RaE ஆகியவற்றின் முனைப்புள்ளி ஆற்றல்கள் முறையே : 1·39, 1·20, 1·70, 1·98, 1·17 Mev ஆகும்.

β துகள்களை வெளிப்படுத்தும் பல பொருள்கள், கலப்பு மாலைகளைப் (complex spectra) பெற்றுள்ளன. அதாவது, அவற்றிற்கு இரண்டு அல்லது அதிகமான மாலைகள் வெவ்வேறு முனைப்புள்ளி ஆற்றல்களுடனும் செறிவுடனும் உள்ளன. காந்த நிறமாலைமானியால் கிடைத்த பகிர்வு வளைகோட்டைப் பகுப்பாய்வு செய்து இந்த மாலைகளைப் பிரிக்க முடியும். Cl^{38}-ன் β துகள் மாலை படம் 8—9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அத்துடன் மூன்று தனிமாலைகளும் காட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த மூன்றும் சேர்ந்ததே β துகள் மாலை. படத்திலுள்ளவை உந்தம்—பகிர்வு வளைகோடுகளே ஆகும்; ஆற்றல்—பகிர்வு வளைகோடல்ல. இவற்றின் முனைப்புள்ளி ஆற்றல்கள் முறையே: 4·81, 2·77, 1·11 Mev. அவற்றின் ஒப்புச் செறிவுகள் முறையே: 53 %, 16 %, 31 % ஆகும். இதில் β துகள்களுடன் 2·15 Mev, 1·60 Mev ஆற்றல் கொண்ட இரு γ கதிர்களும் காணப்படுகின்றன. அன்டிமணியின் ஓர் ஐசடோப்பான Sb^{124}-க்கு ஐந்து தனி மாலைகளாலான ஒரு கலப்பு மாலை உண்டாகிறது. இதன் ஐந்து தனி மாலைகளின் முனைப்புள்ளி ஆற்றல்கள் 2·291 Mev (21%), 1·69 Mev (7%), 0·95 Mev (7%), 0·68 Mev (26%), 0·5 Mev (39%); இதில் குறைந்தது ஆறு வெவ்வேறான γ கதிர்கள் காணப்படுகின்றன.

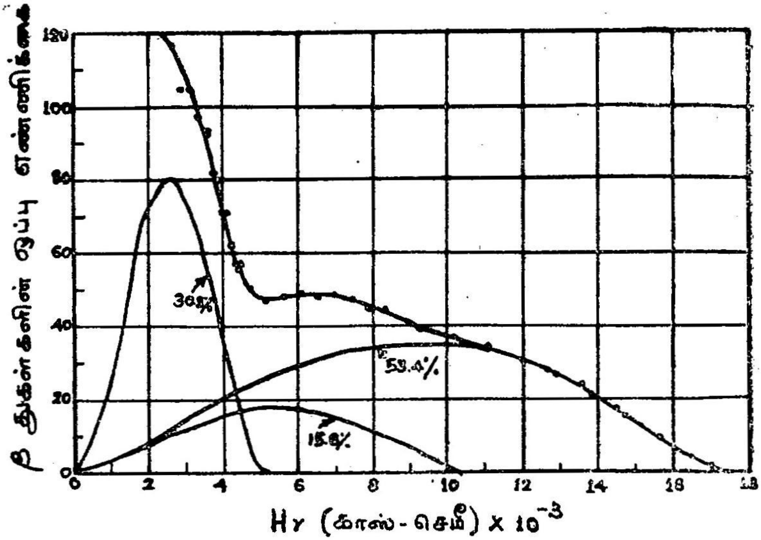
தொடர் மாலையை உண்டாக்கும் β துகள்களின் சராசரி ஆற்றலை, ஆற்றல்—பகிர்வு வளைகோட்டிலிருந்து கணக்கிட முடியும். மொத்த ஆற்றலைப் பெற, குறிப்பிட்ட ஆற்றலுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை, குறிப்பிட்ட ஆற்றல் இரண்டின் பெருக்குத் தொகைக்குத் தொகைகாண (integration) வேண்டும். துகள்களின் எண்ணிக்கையைப் பெற, ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கையை அந்த ஆற்றலைச் சார்ந்து தொகை காண வேண்டும். இந்த எண்ணிக்கை, பகிர்வு வளைகோட்டுக்குக் கீழுள்ள பரப்பாகும். கணிதவியல்படி சராசரி ஆற்றல்,

$$\overline{T} = \frac{\int_0^{T_0} N(T)\, T dT}{\int_0^{T_0} N(T)\, dT.}$$

இதில் T_0 என்பது முனைப்புள்ளி ஆற்றல்; T என்பது ஆற்றல்; N (T) dT என்பது T, T+dT ஆகிய ஆற்றல்களுக்கிடையில் பெற்றுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை. முனைப்புள்ளி ஆற்றல்

1.17 Mev கொண்ட RaE-க்கு இம்முறையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சராசரி ஆற்றல் 0·34 Mev.

சிதைவு விளைபொருள் முழுவதையும் உட்கவரும்படி அமைக்கப்பட்ட ஒரு கலோரிமீட்டரினுள் β துகள் வெளிவிடும் பொருளை வைத்து, தெரிந்த எண்ணிக்கை கொண்ட சிதைவுகளால் மொத்த வெப்ப ஆற்றலை அளவிட்டு ஒரு



படம் 8—9

Cl^{38}-ன் பீட்டாத் துகள் மாலை.

சிதைவில் உண்டாகும் சராசரி ஆற்றலை நேரடியாகக் கண்டு பிடிக்கலாம். இந்த மாதிரி பரிசோதனைகள் RaE-க்கு மூன்று ஆராய்ச்சியாளர்களால் செய்யப்பட்டன. அவர்களின் அளவுகள் 0·35 ± 0·04 Mev; 0·337 ± 0·2 Mev; 0·34 Mev. பகிர்வு வளைகோட்டிலிருந்து பெறப்பட்ட சராசரி ஆற்றல் அளவான 0·34 Mev-யுடன் கலோரிமீட்டர் முறையில் காணப்பட்ட முடிவுகள் மிகவும் ஒத்துள்ளன. அதாவது, பெரும அளவு ஆற்றலான 1·17 Mev-யில் சராசரி ஆற்றல் மூன்றில் ஒரு பங்கு.

ஒரு β உருமாற்றம் நடைபெறும்போது, வெளிப்படும் மாலையின் பெரும அளவு அல்லது முனைப்புள்ளி ஆற்றலுக்குச்

சமமான ஆற்றல் அணுக்கரு ஆற்றலில் குறைகிறது. ThD-ன் அடிநிலைக்குச் சிதைவுறும் ThC-ன் சிதைவைக் கருதினால், அது இருவகைகளில் நிகழ்வது தெரிகிறது. ஒரு வகையில் ThC (Bi^{212}) ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்தி (பெரும ஆற்றல் 2·250 Mev.) ThC′ ஆக மாறி அதிலிருந்து ஒரு α துகளை வெளிப்படுத்தி (α சிதைவு ஆற்றல் 8·946 Mev), ThD (Pb^{208})-ன் அடிநிலையை அடையலாம். இந்த நிகழ்ச்சியின் மொத்த ஆற்றல் மாறுபாடு = 2·250 + 8·946 = 11·196 Mev ஆகும். இரண்டாவது வகையில், ThC′ ஒரு α துகளை வெளிப்படுத்தி (α சிதைவு ஆற்றல் 6·203 Mev) ThC″ ஆக மாறி, அதிலிருந்து ஒரு β துகளை வெளிவிட்டு (பெரும ஆற்றல் 1·72 Mev) ThD-ன் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையை அடையலாம். கிளர்ச்சியுற்ற ThD அடுத்தடுத்த இரண்டு γ கதிர் வெளிவிடுப்பால் (மொத்த ஆற்றல் 3·20 Mev) சிதைவுற்று ThD-ன் அடிநிலையை அடையலாம். இந்த வகையில் உண்டாகும் மொத்த ஆற்றல் மாறுபாடு = 6·203 + 1·792 + 3·20 = 11·195 Mev ஆகும். ஆகவே, β சிதைவின் பெரும அளவு ஆற்றல் கணக்கீட்டில் பயன்படுத்தப்படும்போது இருவகைகளிலும் உண்டாகும் மொத்த ஆற்றல் மாறுபாடு சமமாக உள்ளது. ஆனால், கணக்கீட்டில் சராசரி ஆற்றல் பயன்படுத்தப்பட்டால் இருவகையின் ஆற்றல் மாறுபாடுகளும் ஒத்திருப்பதில்லை. ஆகவே, β கதிர் மாலையின் பெரும அளவு ஆற்றலே, அணுக்கரு வினைகளில் நிறையையும் ஆற்றலையும் ஈடுசெய்யும் ஆற்றல் என்பது உறுதிப்படுகிறது.

மேற்கூறப்பட்ட முடிவுகளில் ஒரு முரண்பாடும் உள்ளது. வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல் நிலையிலுள்ள அணுக்கரு ஓர் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்திய பிறகு, மீதமுள்ள அணுக்கருவையும் ஒரு வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல் நிலையில் விடுகிறது. வெளிப்படுத்தப்பட்ட எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல், வெளிப்படுதலுக்கு முன்பும் பின்பும் உள்ள அணுக்கரு ஆற்றல்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இல்லை. ஆனால், சுழியிலிருந்து தொடர்மாலையின் பெரும அளவு ஆற்றல் வரை எந்த அளவு ஆற்றலையும் அந்த எலெக்ட்ரான் பெற்றிருக்கலாம். வெளிப்படுத்தப்பட்ட துகளின் சராசரி ஆற்றல் பெரும அளவு ஆற்றலில் மூன்றில் ஒரு பங்காக இருக்கிறது. ஆகவே, மூன்றில் இரண்டு பங்கு ஆற்றல் மறைந்துவிட்டதாகத் தோன்றுகிறது. இதனால் ஆற்றல் மாறாக் கோட்பாடு மீறப்பட்டதாகத் தோன்றுகிறது. இந்தக் கோட்பாடு அணு இயற்பியல், அணுக்கரு இயற்பியல், மற்றும் இயற்பியல் வேதியியல்

(Physical chemistry) ஆகியவற்றின் எல்லாக் கிளைகளுக்கும் அடிப்படையாதலால், அது β சிதைவுக்கு மட்டும் ஒவ்வாதது ஒரு முரண்பாடாக உள்ளது.

பீட்டாச் சிதைவுக் கொள்கை :

பீட்டாக் கதிர் தொடர்மாலையால் உண்டாக்கப்பட்ட முரண்பாடுகளை விளக்க 1934-ம் ஆண்டு இரு வழிகள் கையாளப் பட்டன. அவற்றில் ஒன்று, β சிதைவு நிகழ்ச்சியின்போது ஆற்றல் மாருக் கோட்பாட்டைக் கருதாமலே கைவிட்டுவிடுவது. ஆனல், இந்தத் தத்துவம் மற்ற எல்லாக் கிளைகளுக்கும் பொருந்துவதால் இதைக் கைவிடுவது சரியல்ல என்று தோன்றியது. இரண்டாவது வழி, ஃபெர்மி (Fermi) பயன்படுத்திய கொள்கையாகும். இது பெளலி (Pauli) முதன் முதலில் குறிப்பிட்ட நியூட்ரினோ புனைகோள் (nutrino hypothesis) அடிப்படையில் அமைந்தது. அதாவது, β சிதைவின்போது நியூட்ரினோ எனப்படும் ஒரு புதிய துகள் உண்டாக்கப்படுகிறது என்றும், அப் புதிய துகள் மறையும் ஆற்றலை எடுத்துச் செல்கிறது என்றும் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. நியூட்ரினோக்கள் பரிசோதனைப்படி கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. நியூட்ரினோக்களைக் கண்டுணர முடியாதபடி அவற்றின் பண்புகள் இருக்க வேண்டும். ஆகவே, எடுகோள்படி நியூட்ரினோக்கள் எலெக்ட்ரானின் நிறையுடன் ஒப்பிடும்போது மிகமிகச் சிறிய நிறையை உடையவை. நடுநிலை மின்னூட்டம் பெற்றவை. நியூட்ரினோக்களின் நிறை சுழியாகக்கூட இருக்கலாம். மின்னூட்டம் மாருக் கோட்பாட்டின்படி நியூட்ரினோவுக்கு எந்தவித மின்னூட்டமும் இருக்கமுடியாது.

நியூட்ரினோ புனைகோள்படி, ஒவ்வொரு β சிதைவு நிகழ்ச்சியிலும் தொடர்மாலையின் முனைப்புள்ளி குறிக்கும் ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. இந்தச் சிதைவு ஆற்றலை β துகள், நியூட்ரினோ, பின் உந்தப்படும் அணுக்கரு ஆகிய மூன்றும் பங்கிட்டுக்கொள்கின்றன. மூன்று துகள்கள் ஆற்றலைப் பங்கிட்டுக்கொள்ளும்போது ஒவ்வொரு துகளும் பெறும் ஆற்றலையும் உந்தத்தையும் ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் மாருக் கோட்பாடுகள் தனித்து இருபொருள்களின் வகையில் நிர்ணயிப்பதுபோல் செய்ய முடிவதில்லை. இந்த முடிவை β சிதைவுக்குக் கையாண்டால், ஒரே வகையின் வெவ்வேறு அணுக்கருக்கள், கிடைக்கக்கூடிய சமமான ஆற்றல்களைச் சிதைவில் உண்டாகும் துகள்களுக்கு வெவ்வேறு வழிகளில் ஒரு தொடர்ச்சியான எல்லைக்குள் பகிர்ந்து கொடுக்கின்றன. ஆகவே,

ஒரு நியூட்ரினேவும் சிதைவின்போது வெளிப்படுத்தப்படுகிறது என்ற எடுகோள், β துகள் ஆற்றல்களின் தொடர்மாலைக் கொள்கையை விளக்குகிறது.

ஆனல், β சிதைவுக் கொள்கை என்பது பகிர்வு வளைகோட்டின் வடிவத்தை விளக்க வேண்டும்; முனைப்புள்ளி ஆற்றல் உள்ளதை விளக்க வேண்டும்; வளைகோட்டில் பெரும அளவு உள்ளதையும் விளக்க வேண்டும். அக் கொள்கையானது சராசரி ஆற்றலுக்கும் முனைப்புள்ளி ஆற்றலுக்கும் உள்ள தொடர்பை விளக்கவேண்டும். முடிவாக அக் கொள்கையானது, முனைப்புள்ளி ஆற்றல்களுக்கும் β சிதைவுகளில் உள்ள சிதைவு மாறிலிகளுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்புகளையும் விளக்க வேண்டும். நியூட்ரினே எடுகோளின் அடிப்படையில் அமைந்த β சிதைவைப் பற்றி ஃபெர்மி கொள்கை மேலே கூறப்பட்டவை அனைத்தையும் விளக்குகிறது. கண்டுணரப்படாத துகள் உள்ளது என்ற கருத்து புதுமையானதாயிருந்தாலும், இக் கருத்து β சிதைவைப் பற்றிய மிக வெற்றிகரமான ஒரு கொள்கையைக் கொடுத்துள்ளது. இக் கொள்கையின் வெற்றியையே நியூட்ரினே உள்ளதற்கு ஓர் ஆதாரமாகக் கொள்ளலாம். இக்கொள்கையின் வெற்றியின் காரணமாகவே நியூட்ரினேக்களை நேரடியாகக் காணப் பல பரிசோதனை முயற்சிகள் செய்யப் பட்டன. இம் முயற்சிகளின் முடிவில் வெற்றி கிட்டியது.

ஃபெர்மி கொள்கை கீழ்க்காணும் கருத்துகளின் அடிப்படையில் அமைந்துள்ளது. ஓர் அணுக்கரு ஒரு β துகளை வெளிப்படுத்தும்போது, அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் ஓரலகு மாறுகிறது. அப்போது அணுக்கருவின் நிறை நடைமுறையில் மாருமல் இருக்கிறது. வெளிப்படுத்தப்பட்ட β துகள் ஒரு எலெக்ட்ரானுயிருந்தால், அணுக்கருவினுள் இருக்கும் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையில் ஒன்று அதிகரித்து, நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையில் ஒன்று குறைகிறது. ஆனல், ஒரு பாசிட்ரான் வெளிப்பட்டால், அணுக்கருவில் உள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையில் ஒன்று குறைந்து, நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையில் ஒன்று அதிகரிக்கிறது. β உருமாற்றங்களைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகளால் குறிப்பிடலாம்:

β^- வெளிப்படுதல்: $_0n^1 \longrightarrow {}_1H^1 + {}_{-1}e^0 + \nu$

β^+ வெளிப்படுதல்: $_1H^1 \longrightarrow {}_0n^1 + {}_1e^0 + \nu$

இவற்றில் ν என்பது நியூட்ரினேவைக் குறிப்பிடுகிறது. ஒரு புரோட்டான், ஓர் எலெக்ட்ரான், ஒரு நியூட்ரினே ஆகிய

மூன்றினாலும் ஆனதாக ஒரு நியூட்ரானைக் கருதக்கூடாது. ஆனால், β துகள் வெளிப்படும் அந்த நேரத்தில்தான் ஒரு நியூட்ரான் இந்த மூன்று துகள்களாக மாறுவதாகக் கருதவேண்டும். (இது போன்றே β துகள் வெளிப்படும் நேரத்தில்தான் உருவமைகிறது). இப்படி உருவமைக்கப்பட்ட ஒரு நியூட்ரானோ அல்லது புரோட்டானோ ஒரு தன்னிச்சையான துகள் அல்ல. அது அணுக்கரு விசைகளால் அணுக்கருவினுள் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. தன்னிச்சையான நியூட்ரான் β சிதைவுற்று, 12 நிமிட அரைவாழ்வுக்காலம் பெற்றுள்ளது என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. கலப்புக் கதிரியக்க அணுக் கருக்களில், நியூட்ரான்கள் தன்னிச்சையான துகள்கள் போன்று செயற்பட முடியாது; அவற்றின் சிதைவு முழு அணுக்கருவின் பண்பாகுமேயல்லாது அந்தத் தனித்த தன்னிச்சையான நியூட்ரானின் ஒரு பண்பல்ல.

நியூட்ரினோவின் இன்னொரு பண்பை மேலே கொடுக்கப்பட்ட இரு சமன்பாடுகளிலிருந்து பெறமுடியும். இந்தப் பண்பு உள்ளார்ந்த கோண உந்தம் (intrinsic angular momentum) அல்லது சுழற்சி (spin) ஆகும். அணுக்கருக்கள் புரோட்டான் களையும் நியூட்ரான்களையும் மட்டுமே கொண்டுள்ளன என்ற கருத்தின் அடிப்படையில் வெவ்வேறு அணுக்கருக்களின் மொத்த கோண உந்தத்தின் மதிப்பை அளவிட முடியும் என்பது தெரியும். ஆனால் β துகளை வெளிப்படுத்தி ஓர் அணுக்கரு இன்னோர் அணுக்கருவாக மாறும்போது கோண உந்தத்தைப் பற்றி ஓர் இடையூறு ஏற்படுகிறது. உதாரணமாக, A என்ற அணுக்கரு β என்ற β துகளை வெளிவிட்டு B என்ற அணுக்கருவாக மாறுவதாகவும், நியூட்ரினோ வெளிப் படாததாகவும் வைத்துக்கொள்வோம். $(B+\beta)$ என்ற அமைப்பின் கோண உந்தம் மூன்று பகுதிகளாக உள்ளது. அவை: B-யின் கோண உந்தம், B-யும் β-வும் சேர்ந்து அவற்றின் நிறையைப் பற்றிய பொது மையத்தைப் பொறுத்த சுழற்சிக் கோண உந்தம் (rotational angular momentum), β-வின் சுழற்சி ஆகிய மூன்றுமேயாகும். மொத்தக் கோண உந்தம் மாறாமலிருக்க, இந்த மூன்று வகைக் கோண உந்தங்களின் தொகுபயன் தொடக்க அணுக்கருவான A-யின் கோண உந்தத்திற்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். சிதைவு நிகழ்ச்சியினால் அணுக்கருவின் நிறை எண் மாற்றமடையவில்லை யாதலால், B-யின் கோண உந்தம் A-யின் கோண உந்தத்திற்குச் சமமாகவோ அல்லது அதன் மதிப்பிலிருந்து $h/2\pi$ யின் முழு எண் பெருக்கற்பலனளவில் வேறுபட்டோ இருக்கும்.

இரண்டாவது கூறுன சுழற்சிக் கோண உந்தம், சுழியாகவோ அல்லது h/2π-யின் முழு எண் பெருக்கற்பலனுகவோ இருக்கும் என்று அலையியக்கவியல் கணக்கீட்டு முறையில் தெரிகிறது. மூன்ருவதான β துகளின் (எலெக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரான்) சுழற்சி ½ h/2π-யாக உள்ளது. அலையியக்கவியல்படி இரண்டு அல்லது அதற்கும் அதிகமான கோண உந்தங்களை ஒன்று சேர்க்கும்போது கிடைக்கும் தொகுபயன், கூறுகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகவோ அல்லது கூட்டுத்தொகையைவிட h/2π முழு எண் பெருக்கற்பலனளவில் குறைவாகவோ இருக்கும். இந்த விதிப்படி மூன்று உந்தங்களையும் ஒன்றுசேர்க்கும்போது B + β-வின் மொத்த கோண உந்தம், A-யினதிலிருந்து ½h/2π-யின் ஒற்றைப்படை எண் பெருக்கற்பலனளவு வேறுபட்டிருக்கும். இரட்டைப்படை எண்ணை அணு எண்ணுகக் கொண்ட அமைப்பின் மொத்த கோண உந்தம், தாய் அணுக்கருவிற்கு h/2π-யின் முழு எண் பெருக்கற் பலனளவாகவும், விளைபொருள் அணுக்கருவுக்கும் β துகளுக்கும் சேர்ந்து h/2π-யின் முழு எண் பெருக்கற்பலனளவில் பாதி அளவாகவும் இருக்கும். ஒற்றைப்படை எண்ணை அணு எண்ணுகக் கொண்ட அமைப்பிற்குக் கோண உந்தம் தாய் அணுக்கருவிற்கு h/2π-யின் முழு எண் பெருக்கற்பலனளவில் பாதியாகவும், விளைபொருள் அணுக்கருவிற்கும் β துகளுக்கும் சேர்ந்து h/2π-யின் முழு எண் பெருக்கற்பலனுகவும் இருக்கும்.

சுழற்சி ½ h/2π கொண்ட நியூட்ரினே வெளிப்படுவதாக வைத்துக்கொண்டால்: எலெக்ட்ரான், நியூட்ரினே ஆகியவற்றின் சுழற்சிகளின் தொகுபயன் ஒரு முழு எண்ணுகும் (h/2π-ன் 1 அல்லது O மடங்காகும்). தாய் அணுக்கருவின் கோண உந்தம் முழு எண் அல்லது அரை எண் பெருக்கற்பலனுக இருப்பதைப் பொறுத்து, சிதைவிற்குப் பிறகு உள்ள விளைபொருள் அணுக்கரு, எலெக்ட்ரான், நியூட்ரினே ஆகிய எல்லாத் துகள்களின் கோண உந்தங்களின் தொகுபயன் முழு எண் அல்லது அரை முழு எண் பெருக்கற்பலனுக இருக்கும். இவ்வாறு, அமைப்பின் மொத்த கோண உந்தம் மாருமல் இருக்கிறது.

β சிதைவில் அமைப்பின் புள்ளியியலுக்கும் இத்தகைய விளக்கம் தரமுடியும். நியூட்ரினே இல்லாதிருக்கும்போது, β உருமாற்றத்திற்கு முன்பும் பின்பும் அமைப்பிலுள்ள துகள் களின் எண்ணிக்கையில் ஓரலகு வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. புள்ளியியல், ஃபெர்மி—டிராக் புள்ளியியலிலிருந்து, போஸ்—ஐன்ஸ்டீன் (Bose-Einstein) புள்ளியியலாக மாறுபடலாம்.

அல்லது இரண்டாவதிலிருந்து முதலாவதற்கு மாறலாம் என்பதை இந்த வேறுபாடு சுட்டிக் காட்டுகிறது. பிறகு, துகள்களின் எண்ணிக்கை 2 அலகு மாறுகிறது. ஏனெனில், நியூட்ரான், புரோட்டான், எலெக்ட்ரான், நியூட்ரினோ ஆகியவை ஃபெர்மி—டிராக் துகள்களாயிருப்பதாலும், தொடக்கத்திலும் முடிவிலும் உள்ள அணுக்கரு ஃபெர்மி—டிராக் புள்ளியியலை அனுசரிப்பதாலும் ஆகும்.

நியூட்ரினோவின் பண்புகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம்: மின்னூட்டம் இல்லை; மிகச்சிறிய நிறை; சுழியாகக் கருதக் கூடிய அளவு நிறை சிறியது; எலெக்ட்ரான் நிறையுடன் ஒப்பிடும் போது இதன் நிறை மிகச்சிறியது. சுழற்சி $\frac{1}{2}$ h/2π-க்குச் சமமானது; ஃபெர்மி—டிராக் புள்ளியியலை அனுசரிப்பது.

நியூட்ரினோ எடுகோளும், ஃபெர்மி விளக்கிய கொள்கையும் சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான் கவரப்படும் நிகழ்ச்சிக்கும் பொருந்தும். சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான் கவரப்படுதலைக் கீழ்க் காணும் சமன்பாடு குறிப்பிடுகிறது :

$$_{1}H^{1} + {}_{-1}e^{\circ} \longrightarrow {}_{0}n^{1} + \nu.$$

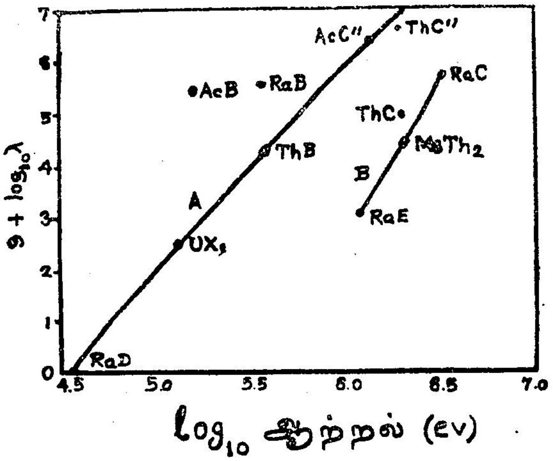
தொடக்க அணுவின் நிறை, இறுதி அணுவின் நிறையைவிட அதிகமாயிருந்தால் சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான் கவரப்படும் என்பது தெரியும். அப்போது இரு நிறைகளுக்கும் உள்ள வேற்றுமை ஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது. இந்த நிகழ்ச்சியில் அணுக்கருவின் அணு எண் z லிருந்து z-1 ஆக மாறுகிறது; வெளியிலுள்ள சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான்கள் தங்கள் அமைப்பை மாற்றிக்கொள்கின்றன. விளைபொருள் அணுக் கருவைப் பொறுத்துச் சிறப்புப் பண்புகளைக்கொண்ட X கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன. வெளிப்படும் மொத்த ஆற்றல் △E ஆனது, சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரானின் பிணைப்பு ஆற்றல் Ee, அணுக் கருவின் பின்உதைப்பு ஆற்றல் Er, நியூட்ரினோவின் இயக்க ஆற்றல் ஆகிய மூன்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். அளவிடப்பட்ட △E-யின் மதிப்பு Mev அளவில் உள்ளது; எலெக்ட்ரானின் பிணைப்பு ஆற்றலும், அணுக்கருவின் பின் உதைப்பு ஆற்றலும் அதைவிட மிகச்சிறியதாக உள்ளன. இதில் β துகளோ அல்லது γ கதிரோ வெளிப்படவில்லையாத லால், கிடைக்கும் ஆற்றல் முழுவதையும் நியூட்ரினோ எடுத்துச் சென்றிருக்க வேண்டும். இப்படியிருந்தால்தான் ஆற்றல் மாறாக் கோட்பாடு சரியாக இருக்கும். சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான்

கவரப்படும்போது வெளிப்படும் எல்லா நியூட்ரினோக்களும் $\Delta E - Ee - Er$ அளவுக்குச் சமமான ஆற்றலையே பெற்றிருக்கின்றன. தங்களின் ஆற்றலையும் உந்தத்தையும் சாதாரண இயக்கவியல் முறைகளில் நிர்ணயிக்கக்கூடிய இரு துகள்களால் மட்டும் $\Delta E - Ee$ அளவு ஆற்றல் பகிர்ந்துகொள்ளப்படுகின்றன என்ற உண்மையிலிருந்து இந்த முடிவு கிடைக்கிறது. நியூட்ரினோவின் சுழற்சி $\frac{1}{2}$ $h/2\pi$ ஆகவும், அது ஃபெர்மி—டிராக் புள்ளியியலைத் தழுவுகிறது என்பதும், ${}_1H^1 + {}_{-1}e^0 \longrightarrow {}_0n^1 + \nu$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கிடைக்கிறது.

அரைவாழ்வுக் காலம் அல்லது சிதைவு மாறிலிக்கும் முனைப் புள்ளி ஆற்றலுக்கும் இடையே சில தொடர்புகள் காணப்படுகின்றன. இவை β சிதைவுத் திட்டத்தில் முக்கியமானவை. இயற்கையான β துகள்களை வெளிவிடும் பொருள்களின் சிதைவு மாறிலியின் லாகரிதத்திற்கும் அவற்றின் முனைப்புள்ளி ஆற்றலின் லாகரிதத்திற்கும் வரைபடம் வரைந்தால், பெரும்பாலான புள்ளிகள் இரண்டு நேர்கோடுகளின்மீதோ அல்லது அவற்றிற்கு அருகிலேயோ அமைவதாக சார்ஜென்ட் (Sargent) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். இந்தக் கோடுகள் படம் 8-10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவை 'சார்ஜென்ட் வளைகோடுகள்' என அழைக்கப்படுகின்றன. இந்த வளைகோடுகள் α சிதைவுக்கான கைகர்-நட்டல் விதியை ஒத்த அனுபவ விதிகளைக் குறிக்கின்றன. α சிதைவின் முடிவுகளுக்கு மாருக, β சிதைவில் ஆற்றல் மாறுபடும்போது சிதைவு மாறிலி அவ்வளவு விரைவாக மாறுவதில்லை. ஆகவே, இந்த இருவகை வளைகோடுகளும் ஒரே கதிரியக்க வரிசைக்கு ஒத்திருப்பதில்லை. படம் 8-10-ல் மேலே உள்ள வளைகோடு அனுமதிக்கப்பட்ட கடந்து செல்கைகளையும் (allowed transition) கீழே உள்ள கோடு தவிர்க்கப்பட்ட கடந்து செல்கைகளையும் (forbidden transition) காட்டுகின்றன இந்த இரண்டு வகைகளிலும் தூண்டுதலற்ற சிதைவு வாய்ப்புகள் உள்ளன.

log λ-வுக்கும் log T_0-வுக்கும் வரையப்பட்ட சார்ஜென்ட் வளைகோடுகள், செயற்கை β வெளிவிடும் பொருள்களுக்கும் வரையப்பட்டன. அந்த சார்ஜென்ட் வளைகோடுகளில் ஒன்று அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களையும், மற்றவை வெவ்வேறு அளவான தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களையும் குறிப்பிடுவன. இந்த மாதிரியான பரிசோதனைகளின் சீரான முடிவுகளால், β சிதைவுக் கொள்கையானது, β வெளிவிடுப்பின் வெவ்வேருன சார்பு வாய்ப்புகளையும், ஆற்றல் மாலை

களின் பண்புகளையும் விளக்கக்கூடியதாக இருக்கும் என்பது தெரிகிறது.



படம் 8—10

இயற்கையான β துகள் வெளிவிடுப்பான்களின் சார்ஜென்ட் வரைகோடுகள்.

பீட்டாச் சிதைவு : கொள்கையும் பரிசோதனை முடிவுகளும் :

பீட்டாச் சிதைவுக் கொள்கைப்படி மூன்று சமன்பாடுகள் உள்ளன. அவையாவன :

β^- வெளிவிடுப்பு : ${}_0n^1 \longrightarrow {}_1H^1 + {}_{-1}e^0 + \nu$ —(1)

β^+ வெளிவிடுப்பு : ${}_1H^1 \longrightarrow {}_0n^1 + {}_1e^0 + \nu$ —(2)

எலெக்ட்ரான் கவர்தல் : ${}_1H^1 + {}_{-1}e^0 \longrightarrow {}_0n^1 + \nu$ —(3)

மூன்றின் நிகழ்ச்சி வாய்ப்புகளைக் கணக்கிட வேண்டும். கணக்கீடு செய்ய, இந்தச் சமன்பாடுகள் குறிக்கும் மாற்றங்களை உண்டாக்கும் ஒரு விசையைப் புகுத்த வேண்டும். அதாவது, நியூட்ரானைப் புரோட்டானாக மாற்றியோ அல்லது புரோட்டானை நியூட்ரானாக மாற்றியோ அச் சமயத்தில் ஓர் எலெக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரான், ஒரு நியூட்ரினோ ஆகியவற்றையும் உண்டாக்கும் ஒரு விசையைப் புகுத்த வேண்டும். ஃபெர்மி அப்படிப் பட்ட ஒரு விசையைப் புகுத்தி, அதன் செய்கையைக் கணக்கியல்

முறையில் விவரித்தார். மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு வெளிப்படுதலை விவரிக்கப் பயன்படுத்தப்பட்ட குவாண்டம் இயக்கவியல் விளக்க முறைகளுக்கு ஒத்த முறைகளை இங்கும் ஃபெர்மி பயன் படுத்தினார். வெளிப்படும் துகள்களின் ஆற்றல் பகிர்வுக்கு ஃபெர்மி கொள்கை ஒரு சமன்பாட்டைத் தருகிறது. அதாவது, இயக்க ஆற்றலை T-க்கும் T + Td-க்கும் இடையில் பெற்றுள்ள ஒரு β துகளை வெளிப்படுத்தி ஓரலகு நேரத்தில் சிதைவுறும் அணுக்கருப் பகுதி :

$$P(T)\,dT = G^2|M|^2 F(Z, T)(T + m_0c^2)(T^2 + 2m_0c^2T)^{\frac{1}{2}} \times (T_0 - T^2)\,dT \qquad -(4)$$

இந்தச் சமன்பாட்டை நன்கு விளக்கி, அதனைப் பரிசோதனை முடிவுகளுடன் ஒப்பிடுவோம். சமன்பாட்டில் G என்பது ஓர் இயற்கையான மாறிலி; அது ஃபெர்மி விசையின் (Fermi Force) செறிவைக் குறிக்கிறது. அதன் உண்மையான மதிப்பு முக்கிய மானதல்ல. F (Z,T) என்பது ஒரு சிக்கலான சார்பு. இது, வெளிப்படும் β துகளின்மேல் அணுக்கருவின் கூலும் புலம் உண்டாக்கும் விளைவைக் குறிக்கின்றது. Z=0 என்றால் F=1 என்றாகிறது. Z-ன் மதிப்பு 20 ஆக அதிகரிக்கும் வரை F-ன் மதிப்பு மெதுவாக அதிகரிக்கிறது ; அதன் பிறகு அதன் மதிப்பு விரைவாக அதிகரிக்கிறது. F-க்கான வாய்பாட்டில் எலெக்ட்ரான் வெளிப்படும்போது Z நேர்குறி (+) உடையதாகவும், பாசிட்ரான் வெளிப்படும்போது Z எதிர்க்குறி (—) உடைய தாகவும் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. அணி மூலகம் (Matrix element) எனப்படும் அலையியக்கவியல் அளவான M-ன் தனித்த மதிப்பின் இருமடியை $|M|^2$ குறிப்பிடுகிறது. அணுக்கரு பீட்டா உருமாற்றம் பெறக்கூடிய ஒப்பு வாய்ப்பின் (relative probability) அளவை M காட்டுகிறது. பெரும்பாலும் M-ஐ மிகச் சரியாகக் கணக்கிடமுடியாது. ஆனால், அதைப்பற்றிய பொதுவான அனு மானங்களால், அனுமதிக்கப்பட்ட மற்றும் தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களுக்கிடையேயுள்ள கொள்கைரீதியான வேறுபாடுகளை விளக்க முடிகிறது. சமன்பாட்டின் வலப்புற முள்ள மற்ற அளவுகள் ஒரு புள்ளியியல் கூற்றெண் (factor) ணை அமைகின்றன. இந்தக் கூற்றெண், ஆற்றல் T_0 எப்படி எலெக்ட்ரான், நியூட்ரினோ, அணுக்கரு ஆகிய மூன்றினாலும் பகிர்ந்துகொள்ளப்படுகிறது என்பதை விவரிக் கின்றது. தொடர் β கதிர் மாலையின் பொதுவான பண்புகளுக்கு இந்தப் புள்ளியியல் கூற்றெண்ணே காரணமாகும். T_0 என்பது, சிதைவுக்குக் கிடைக்கும் ஆற்றலாகும். m_0 என்பது, எலெக்ட் ரானின் அமைதி நிலை நிறை (rest mass).

$G^2 |M|^2$ என்ற கூற்றெண், அணுக்கரு ஒரு β துகளையும், ஒரு நியூட்ரினேவையும் வெளிப்படுத்தக்கூடிய ஒப்பு வாய்ப்பின் அளவாகும். F (Z, T) என்பது அணுக்கருவின் கூலும் புலம் β துகள் வெளிப்படுவதன் மேல் உண்டாக்கும் விளைவைக் குறிக்கிறது. புள்ளியியல் கூற்றெண், கிடைக்கும் சிதைவு ஆற்றலில் எவ்வளவு பகுதியை β துகள் தன்னுடன் எடுத்துச் செல்கிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. எல்லாக் கூற்றெண்களும் சேர்ந்து, தகுந்த ஆற்றலுடன் ஒரு β துகள் வெளிப்படத் தேவையான வாய்ப்பு என்ன என்பதைக் கொடுக்கின்றன.

அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள், Z மதிப்புக் குறைவாக உள்ள நியூக்ளைடுகளில் நடைபெறும்போது சமன்பாடு (4)-ஐச் சுருக்க முடியும். F-ன் மதிப்பு ஒன்றுக்குச் சமமென்றும், M-ன் மதிப்பு ஆற்றலைச் சாராத ஒன்று என்றும் எடுத்துக் கொள்ளலாம். இரண்டுவகை ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களுக்கும் இடையில் உள்ள வேறுபாடு என்ன என்பது பின்னர் விளக்கப் படும். அதுவரையில் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றத்தை, நிகழ்வதற்கு அதிக வாய்ப்புள்ளது என்று கொள்ளலாம். அதாவது, குறைந்த அரை வாழ்வுக் காலமும், அதிகச் சிதைவு மாறிலியும் கொண்டவை எனக் கொள்ளலாம். இந்தத் தோராயங்களுடன், கொள்கை ரீதியான சிதைவு வாய்ப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$P(T)\,dT = (G^1)^2 (T + m_0C^2)(T^2 + 2M_0C^2T)^{\frac{1}{2}} (T_0 - T)^2 dT \qquad -(5)$$

இதில் G^1 என்பது, ஒரு புதிய மாறிலி. இந்தச் சமன்பாடு நியூட்ரான், H^3, H^6, C^4, N^{18}, O^{15}, F^{17} போன்ற β துகள் வெளிவிடும் பொருள்களுக்குப் பொருந்துகிறது. இதில் $T = O$ என்றும், $T = T_0$ என்றும் இருக்கும் போது β சிதைவின் வாய்ப்பு மறைகிறது. T-ன் மதிப்பு O-வுக்கும் T_0-க்கும் இடையில் இருக்கும் போது P (T)-ன் மதிப்பு நேர் குறியுடைய தாக இருக்கிறது. P (T)-க்கும் T-க்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால், $T = O$ என்றிருக்கும்போது மதிப்பு O ஆகவும், T-அதிகரிக்கும்போது P (T)-ன் மதிப்பு அதிகரித்து ஒரு பெரும அளவை அடைந்து பிறகு குறைந்து, $T = T_0$ ஆகும் போது O வாகிறது: T_0-ன் ஒரு கொடுக்கப்பட்ட மதிப்பிற்கு, வெளிப் படுத்தப்பட்ட β துகளின் ஆற்றலின் சராசரி மதிப்பைத் தொகு ஆக்கம் மூலம் காணலாம். இந்த மதிப்பு, அளக்கப்பட்ட சராசரி ஆற்றல் மதிப்புடன் மிகவும் ஒத்துள்ளது. ஆகவே, ஓர் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றத்தில் உண்டாகும்

ஆற்றல் மாலேக்கான கொள்கை ரீதியான கோவை பரிசோதனைப்படியான β கதிர் மாலேகளின் முக்கிய அம்சங்களேச் சரியாகக் கொடுக்கிறது.

சிதைவு மாறிலி λ மற்றும் சராசரி வாழ்வுக்காலம் τ ஆகியவற்றின் கொள்கையினடிப்படை மதிப்புகள், சமன்பாடு (4) அல்லது (5) - ஐ இயக்க ஆற்றலின் முடியக்கூடிய அளவுகளுக்குத் தொகு ஆக்கம் செய்வதால் கிடைக்கின்றன :

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \int_0^{T_0} P(T)\, dT \qquad — (6)$$

சமன்பாடு (5)-க்குப் பகுப்பாய்வு முறைகளில் தொகு-ஆக்கம் செய்யப்படலாம். அப்போது λ-வின் மதிப்பை முனேப்புள்ளி ஆற்றல் T_0-ன் சார்பாகக் கூறமுடியும். தோராயமாகச் சிதைவு மாறிலி, முனேப்புள்ளி ஆற்றலின் 5 வது அடுக்கிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அதாவது,

$$\lambda \approx k\ T_0^5$$

$$\log \lambda = \log k + 5 \log T_0$$

இங்கு k என்பது ஒரு மாறிலி. இது குறைந்த அளவு, சார்ஜென்ட் வளேகோடுகளேயாவது குறிக்க வேண்டும். சார்ஜென்ட் கோடுகளின் வாட்டம் தோராயமாக 5 ஆதலால் இது உண்மையாகவே உள்ளது. F (Z, T) மற்றும் M ஆகியவற்றின் விளேவுகளேயும் கருதும்போது Z-ன் மதிப்பு அதிகமாக உள்ள அணுக்கருக்களின் அனுமதிக்கப்பட்ட அல்லது தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களில் கொள்கை மற்றும் பரிசோதனே மதிப்புகளே ஒப்பிடுதல் அவ்வளவு நேரடியாக அமைவதில்லே.

கொள்கைப்படியும் மற்றும் பரிசோதனேப்படியும் அமைந்த ஆற்றல் மாலேகளே அளவியலாக ஒப்பிடுவது, கூரி வரைபடம் அல்லது ஃபெர்மி வரைபடம் (Kurie Plot, Fermi Plot) எனப்படும் மிக யூகமாக வழியில் செய்யப்படுகிறது. இதனேப் புரிந்துகொள்வதற்கு முன்பு சமன்பாடு (4) - ஐ வேறு உருவத்தில் எழுதவேண்டும். இதற்கு M, ஆற்றலேச் சாராத அளவு என்று எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும்; அப்போது அது ஒரு மாறிலியாகக் கருதப்படுகிறது. M_0C^2 (= 0·511 Mev) என்பது எலெக்ட்ரானின் அமைதிநிலே ஆற்றலாதலால்,

$(T + m_0C^2)$ என்ற கோவை, வெளிப்படும் எலெக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றலான E ஆகிறது. சார்பு இயக்கவியலில் $(T^2+2m_0 C^2T)^{\frac{1}{2}}$ என்ற கோவை உந்தத்தின் அளவான pC-க்குச் சமம் என்று காட்டப்படுகிறது. $T_0—T$ என்ற வேறுபாடு $E_0—E$-க்குச் சமம். P (T) dT என்ற பின்னம் N (T) dT என்ற, T-க்கும் T + dT-க்கும் இடையில் ஆற்றல்களைக்கொண்ட β துகள்களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். இப்போது சமன்பாடு (4) - க்குப் பதிலாகக் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டை எழுதலாம் :

$$N (T) \sim FE_p \ (T_0—T)^2 = FE_p \ (E_0—E)^2 \qquad —(7)$$

அல்லது $$\left[N (T) \ / \ FE_p \right]^{\frac{1}{2}} \sim (T_0—T) = E_0—E \qquad —(8)$$

ஆகவே, ஃபெர்மி கொள்கையானது, $[N (T) / FE_p]^{\frac{1}{2}}$ -க்கும் T அல்லது E-யின் மதிப்பிற்கும் வரையப்படும் வரைபடம் ஒரு நேர்கோடாக இருக்கும் என்று கூறுகிறது. இந்த நேர்கோடு ஆற்றல் அச்சை $T = T_0$ அல்லது $E = E_0$ என்ற புள்ளியில் வெட்டுகிறது. N (T) - ஐ பரிசோதனையில் காணப்பட்ட துகள்களின் எண்ணிக்கையாக எடுத்துக்கொண்டால், வரைபடம் ஃபெர்மி கொள்கைக்கான தேர்வாகும் (test). இப்படிக் கொள்கையையும் சோதனை முடிவுகளையும் ஒப்பிடும் முறையை கூரி, ரிச்சர்ட்சன், பேக்ஸ்டன் (Kurie, Richardson and Paxton) மூவரும் கூறினர். இம் முறை, T_0-வின் நேரடி அளவீட்டைப் பொறுத்து அமையாதது ஓர் அனுகூலமாகும். வரைபடத்தில் ஒரு நேர்கோடு கிடைத்தால், அதுவே, ஃபெர்மி கொள்கை ஒப்புக்கொள்ளக்கூடியது என்பதற்கு ஆதாரமாகும். கூரி வரைபடத்தில் நேர்கோட்டை நீட்டி முனைப்புள்ளி ஆற்றலையும் கண்டுபிடிக்கலாம்.

நடைமுறையில் β துகள்களின் உந்தப் பகிர்வு அடிக்கடி பயன்படுத்தப்படுகிறது. P (p) என்ற ஒரு சார்பை எடுத்துக் கொள்ளலாம். p-க்கும் p + dp- க்கும் இடையில் உந்தங்களின் அளவுகளைக்கொண்ட β துகள்களைக் கொடுக்கும் சிதைவுகளின் பகுதி P (p) dp ஆக இருக்கும்படியான சார்பு P(p) என்பது. ஒவ்வோர் ஆற்றல் இடைவெளியான dT-க்கும் ஓர் உந்த இடைவெளியான dp பொருந்துகிறது. வரையறைப்படி ஒத்த இடைவெளிகளுக்கு உள்ள வழிமுறைகளின் எண்ணிக்கை ஒரே அளவானதாகும். அதாவது,

$$P\ (T)\ dT\ =\ P(p)\ dp$$

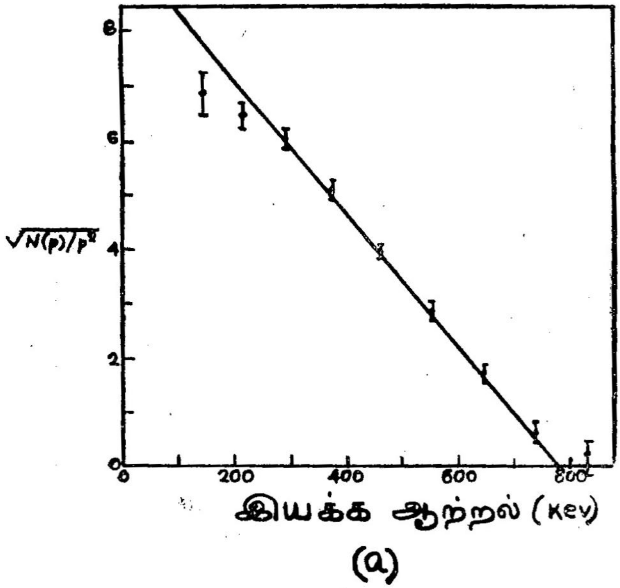
அல்லது $N\ (T)\ dT\ =\ N(p)\ dp$

இப்போது ஆற்றல் பகிர்வு சமன்பாடு (4)-ஐக் கீழ்க்காணும் உந்தம் பகிர்வு சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

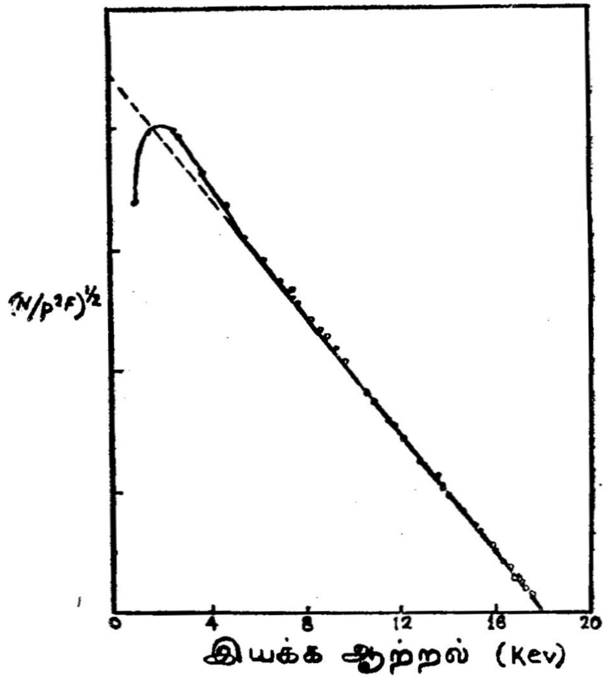
$$P\ (p)\ dp = cG^2\ |M|^2\ F(Z,\ p)\ p^2\ (T_0 - T)^2\ dp \qquad \text{—(9)}$$

கூரி வரைபடத்தில் சார்பு $[N\ (p)\ /\ Fp^2]^{\frac{1}{2}}$-ன் மதிப்பையும் T-ன் மதிப்பையும் குறிப்பிடமுடியும். இந்தச் சார்பில் $N\ (p)$ என்பது உந்தம் p கொண்ட, β துகள்களின் எண்ணிக்கை. இந்த வரைபடமும் ஒரு நேர்கோடேயாகும்.

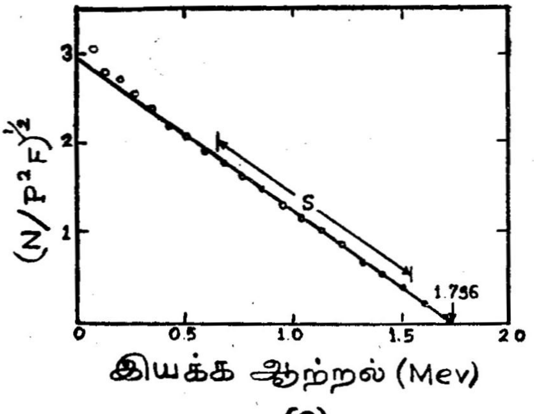
β துகளை வெளிப்படுத்தும் பொருள்களான நியூட்ரான், டிரைசியம் (Tritium), H^3, O^{15}, In^{114} ஆகியவற்றுக்கான கூரி வரை படங்கள் 8-11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொன்றிலும் ஒரு நேர்கோடு கிடைக்கின்றது; மேலும், முனைப்புள்ளி



படம் 8—11
கூரி வரைபடங்கள்.
(a) நியூட்ரான்

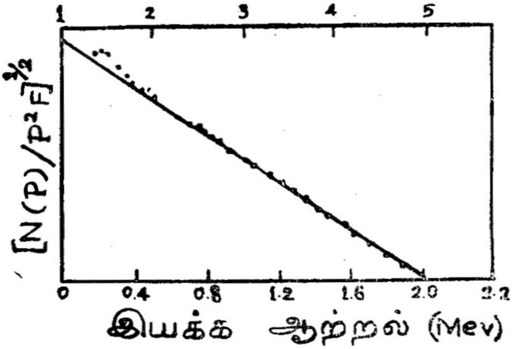


(b)



(c)

(b) டிரைஷியம் ; (c) O^{15}



(d)

(d) In^{114}.

ஆற்றலின் சரியான மதிப்பும் கிடைக்கிறது. ஆகவே, இந்த முடிவுகளும் இவைபோன்ற வேறு பல முடிவுகளும், அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மாலைகளைப் பற்றிய ஃபெர்மி கொள்கை ஒப்புக்கொள்ளக்கூடியது என்பதற்கான சான்றாகும். நியூட்ரானுக்கான கூரி வரைபடம் முனைப்புள்ளி ஆற்றலின் மதிப்பை 0·782 ± 0·013 Mev என்று காட்டுகிறது. இந்த மதிப்புதான் நியூட்ரான், புரோட்டான் ஆகியவற்றின் நிறைகளின் வேறுபாடான 0·00084 amu அல்லது 0·782 Mev ஆற்றலாகும். நியூட்ரானைத் தவிர டிரைசியந்தான் சிக்கலற்ற எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுத்தும் நியூக்ளைடு. அதன் கூரி வரைபடம் 17·95 ± 0·10 Kev அளவு முனைப்புள்ளி ஆற்றலைக் கொடுக்கிறது. இந்த மதிப்பும் வரைபடமும் நியூட்ரினோவின் நிறையைவிட உதவியதால் மிக முக்கியமானவையாகும். O^{15}-ன் கூரி வரைபடம் அனுமதிக்கப்பட்ட பாசிட்ரான் உருமாற்றத்தின் ஆற்றல் மாலைக்கான உதாரணமாகும். இதன் முனைப்புள்ளி ஆற்றல் 1·736 ± 0·010 Mev ஆகும். In^{114}-ன் கூரி வரைபடம் தான் அனுமதிக்கப்பட்ட உருமாற்றங்களைப் பற்றிய ஃபெர்மி கொள்கையைப் பற்றிய ஐயமற்ற உறுதிப்பாட்டைக் கொடுத்த வகையாகும்.

அரைவாழ்வுக் காலம் அதிகமாகவும், சிதைவு மாறிலி சிறியதாகவும் கொண்ட சில தீவிரமான தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றங்களுக்கு, கொள்கையின் எளிய அமைப்புகள் தரும் ஆற்றல்மாலை உருவத்திலிருந்து மிகவும் பிறழ்ந்த உருவம் கிடைக்கிறது. இந்த மாறுபாடுகளைக் கொள்கையின் மேம்பாடு களும் பரிசோதனை முறையின் மேம்பாடுகளும் நன்கு விளக்கின.

இந்த உதாரணங்களின் மேட்ரிக்ஸ் கூறுன M, ஆற்றலைச் சார்ந்திருக்கிறது. ஆகவே, அது ஆற்றல்மாலையின் வடிவத்தைப் பாதிக்கிறது. இந்தக் கூடுதலான ஆற்றலைப் பற்றிய தன்மையும் கருதப்படும்போது, கொள்கையும் பரிசோதனையும் மிகவும் ஒத்திருக்கின்றன.

பல உருமாற்றங்களில், $|M|^2$-ன் எண் மதிப்பு துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட முடியாவிட்டாலும் λ-வின் மேல் அது உண்டாக்கும் விளைவின் ஒரு பகுதியை, நுணுக்கமான கணக்கீடு இல்லாமலேயே மதிப்பிட முடியும். கொள்கையின் உதவியினால் $|M|^2$-ஐ ஒரு முடிவற்ற தொடராகக் (infinite Series) கூறமுடியும். அந்த உருக்கோவையின் (தொடரின்) அடுத்தடுத்த உறுப்புகளின் சார்பு எண்மதிப்புகளைத் தோராயமாக அளவிடவும் முடிகிறது. உருக்கோவையின் இரண்டாவது உறுப்பு, முதல் உறுப்பைவிட நூறு மடங்கு குறைவாக இருப்பதும், மூன்றாவது உறுப்பு இரண்டாவது உறுப்பைவிட அதே நூறு மடங்கு குறைவாக இருப்பதும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஆகவே, $|M|^2$-ன் எண் மதிப்பு, நடைமுறையில் மறையாத, முதல் உறுப்பின் மதிப்பாகவே இருக்கிறது. முதல் உறுப்பு O-ஆக இல்லாமலிருந்தால் அதற்கடுத்த உறுப்புகள் யாவற்றையும் விட்டுவிடலாம். அப்போது $P(T)$ மற்றும் λ போன்று, $|M|^2$ ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பைப் பெறுகிறது. இது அனுமதிக்கப்பட்ட உருமாற்றமாகிறது. உருக்கோவையின் முதல் உறுப்பு மறைந்து இரண்டாவது உறுப்பு மறையாமலிருந்தால், மூன்றாவதும் அதற்கு அடுத்த உறுப்புகளையும் விட்டுவிடலாம். $|M|^2$-ன் மதிப்பை உருக்கோவையின் இரண்டாவது உறுப்பு கொடுக்கிறது. இந்த மதிப்பு அனுமதிக்கப்பட்ட வகையினுடையதைவிட 100 மடங்கு சிறியதாக உள்ளது. இதே போன்று $P(T)$ மற்றும் λ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளும், அனுமதிக்கப்பட்ட வகையின் மதிப்புகளைவிட, ஒத்த விதத்தில் சிறியவையாக உள்ளன. இந்த உருமாற்றத்திற்கு 'முதலாவது தவிர்க்கப்பட்ட' அல்லது 'ஒருதரம் தவிர்க்கப்பட்ட' (first forbidden or once forbidden) உருமாற்றம் என்று பெயர். இதே போன்று உருக்கோவையின் மூன்றாவது உறுப்பு மறையாத உறுப்பாயிருக்குமானால் $|M|^2$, P, λ ஆகியவை இன்னும் நூறு மடங்கு சிறியவையாய் இருக்கும். இந்த வகை உருமாற்றத்திற்கு 'இரண்டாவது அல்லது இருமுறை தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றம்' என்று பெயர். இதே முறையில் அதிக அடுக்கு தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றங்களை விளக்கமுடியும்.

இப்போது $|M|^2$-ன் பெருக்க உருக்கோவையின் முதல் உறுப்பு அல்லது முதல் இரண்டு அல்லது முதல் மூன்று உறுப்புகள் ஏன் மறைய வேண்டும் என்ற வினா எழுகிறது. இதற்கும் கொள்கையே விளக்கம் தருகிறது. ஓர் அணுக்கரு உருமாற்றத்தில் அணுக்கருவின் மொத்த கோண உந்தமான I-ன் எண் மதிப்பு $h/2\pi$-ன் முழு எண் பெருக்கற்பலனளவில் மாறலாம். அப்போது ΔI என்ற வேறுபாடு உதாரணமாக எலெக்ட்ரான் மற்றும் நியூட்ரினோ ஆகியவற்றின் சுற்றுப்பாதை உந்தமாகத் தோன்றலாம். அணுவின் அமைப்பில் உள்ள ஆற்றல்மட்ட மாற்றத்திற்கான தேர்வு விதிகள் (selection rule) இருப்பதுபோல் இங்கும் ΔI ஏற்கக்கூடிய மதிப்புகளுக்கு ஒரு தேர்வு விதி உள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட உருமாற்றம் தேர்வு விதியை அனுசரித்தால், $|M|^2$-க்கான உருக்கோவையில் முதல் உறுப்பு மறைவதில்லை; அப்போது அனுமதிக்கப்பட்ட உருமாற்றம் நிகழ்கிறது. இந்த முடிவு, கொள்கையின் தொடக்க அணுக்கரு, இறுதி அணுக்கரு ஆகியவற்றின் கோண உந்தங்கள் $|M|^2$ - க்கான கோவையில் எம் முறையில் புகுத்தப்பட்டனவோ அம் முறையிலேயே பெறப்படுகிறது. தேர்வு விதி அனுசரிக்கப்படவில்லை என்றால் $|M|^2$-க்கான உருக் கோவையின் முதல் உறுப்பு மறைகிறது; அப்போது உண்டாகும் ஆற்றல் மட்ட மாற்றம் ‘முதலாவது தவிர்க்கப்பட்ட’ உருமாற்றமாகும். இதற்கு ஒரு தேர்வு விதி உள்ளது. இவ் விதி அனுசரிக்கப்பட்டால், உண்டாவது உண்மையிலேயே முதலாவது தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றமாகும். அனுசரிக்கப்படாவிட்டால் இரண்டாவது தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றம் உண்டாகும். ஆகவே, எந்தத் தேர்வு விதி அனுசரிக்கப்படுகிறது என்பதைப் பொறுத்து, உண்டாகும் β கதிர் உருமாற்றம், அனுமதிக்கப்பட்டதாகவோ அல்லது ஒரு குறிப்பிட்ட தரமுள்ள தவிர்க்கப்பட்டதாகவோ இருக்கும்.

கொள்கையிலிருந்து பெறப்பட்ட தேர்வு விதிகள், அக் கொள்கையில் புகுத்தப்பட்ட சிறப்பு இடையீட்டுச் செயல் வரையறுக்கப்படும் விதத்தைப் பொறுத்தது. சிறப்பு இடையீட்டுச் செயல் (Special reaction) பல வெவ்வேறு வழிகளில் வரையறுக்கப்படுகிறது. எளிமையான முதல் வரையறை ஃபெர்மியால் உரைக்கப்பட்டது. அதன்படி அனுமதிக்கப்பட்ட உருமாற்றங்களுக்கு $\Delta I = 0$; கொள்கைக்கும் பரிசோதனைக்கும் ஒற்றுமை இல்லாமல் இருந்தது. ஆகவே, கேமோ, டெல்லர் (Gamow and Teller) ஆகிய இருவரும்

இடையீட்டுச் செயலுக்கு வேருெரு வரையறையைக் கொடுத்தனர். அந்தத் தேர்வு விதிப்படி $\Delta I = 0, \pm 1$. β சிதைவுகளைப் பற்றிய தற்காலக் கணிப்புகளின்படி, உண்மையான இடையீட்டுச் செயல், ஃபெர்மி வகை கேமோ—டெல்லர் வகை ஆகிய இரண்டும் ஒன்றுசேர்ந்த ஒன்ருக இருக்கும் எனக் கருதப்படுகிறது. β சிதைவைத் தரும் இடையீட்டுச் செயலின் உண்மையான வரையறை எதுவென்று இன்னமும் முடிவாகத் தெரியவில்லை. ஆனல், β சிதைவின் எல்லாப் பரிசோதனை முடிவுகளையும் கொள்கையின் அடிப் படையில் விளக்க முடிகிறது.

அணி மூலகமான $|M|^2$, துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட முடியாவிட்டாலும், அனுமதிக்கப்பட்ட உருமாற்றங்களுக்கும் தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றங்களுக்கும் இடையே உள்ள வேற்றுமைகளை அளவியலாக விளக்க முடிகிறது. சமன்பாடுகள் (4), (6)- களிலிருந்து $|M|^2$ ஆற்றலைச் சாராத அனுமதிக்கப்பட்ட உருமாற்றங்களின் சராசரி வாழ்வுக்காலம்

$$\frac{1}{\tau} = \lambda = G^2 \, |M|^2 \int_0^{T_0} F(Z, T)\,(T + m_0C^2)$$

$$(T^2 + 2\, m_0C^2\, T)^{\frac{1}{2}} \times (T_0 - T)^2\, dT \qquad \text{—(10)}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள தொகுதி, Z, T_0 ஆகிய இரண்டின் ஒரு சார்பாகும். அதன் மதிப்பைப் பகுப்பாய்வு அல்லது கணக்கியல் தொகுபயன் F-க்குத் தோராயமான கோவைகளைப் பயன்படுத்துவதா இல்லையா என்பதைப் பொறுத்துக் கணக்கிட முடியும். இருவகைகளிலும் தொகுதி $f\ (Z,\ T_0)$ என்ற சார்பாகக் குறிப்பிடப்படும்போது சமன்பாடு (10)-ஐ

$$\frac{1}{\tau} = G^2\ |M|^2\ f\ (Z, T_0) \qquad \text{—(11)}$$

என்று எழுதலாம். அல்லது $f\tau = \dfrac{1}{G^2\,|M|^2}$ —(12)

பெருக்கற்பலனை $f\ \tau$ என்பதன் எண்ணியல் மதிப்பானது (numerical value) அணு எண், முனைப்புள்ளி ஆற்றலின் அளவிடப்பட்ட மதிப்பு, சராசரிவாழ்வுக் காலம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது. $|M|^2$ ஆற்றலைச் சார்ந்திருக்கும் தன்மை தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றங்களில் தவிர்க்கப்பட்டால், சமன் பாடு (12)-ஐ அந்த ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களுக்கும் பயன் படுத்தலாம். தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றங்களுக்கு $|M|^2$ ஓரள

விற்கு ஆற்றலைச் சார்ந்திருப்பதால் சிறிது பிழை இருப்பினும், $f\tau$ என்ற பெருக்கற்பலனைத் தவிர்க்கப்படும் தரத்தைக் குறிப்பிடப் பயன்படுத்தலாம். முதலாவது தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றத்தின் $|M|^2$ மதிப்பு அனுமதிக்கப்பட்ட உரு மாற்றத்தின் $|M|^2$ மதிப்பைவிட 100 மடங்கு சிறியதாகையால் முதலாவது தவிர்க்கப்பட்டதன் $f\tau$ மதிப்பு அனுமதிக்கப் பட்டதன் $f\tau$ மதிப்பைவிட 100 மடங்கு பெரியதாயிருக்குமென எதிர்பார்க்கலாம்.

நடைமுறையில் சார்பு f, மற்றும் அரைவாழ்வுக் காலம் ஆகிய இரண்டின் பெருக்கற்பலனே கணக்கிடப்படுகிறது. அரைவாழ்வுக் காலம் $T_{\frac{1}{2}}$ என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. ஆகவே, $fT_{\frac{1}{2}}$ என்ற பெருக்கற்பலன் $= 0{\cdot}693\ f\tau$ என்று கருதப் படுகிறது. அரைவாழ்வுக் காலம் சாதாரணமாக t-ஆல் குறிக்கப்படுகிறது. ஆகவே, பெருக்கற்பலன் $f\,t$ என்பது ஒப்பிடப்பட்ட அரைவாழ்வுக் காலம் அல்லது '$f\,t$ மதிப்பு' என்று அழைக்கப்படுகிறது. பல நூற்றுக்கணக்கான β வெளிவிடும் பொருள்களின் $f\,t$ மதிப்புகள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுப் பகுத்தாராயப்பட்டுள்ளன. அந்த மதிப்புகள் 1000 செகண்டிலிருந்து 10^{18} செகண்டு வரை உள்ளன. வசதிக்காக $f\,t$ மதிப்பிற்குப் பதிலாக $f\,t$ மதிப்பின் லாகரிதமே அதிகமாகக் கையாளப்படுகிறது. கனமற்ற அணுக்கருக்களின் தொகுப்பு ஒன்றுக்கு $\log f\,t = 2{\cdot}7$ லிலிருந்து $3{\cdot}7$ வரை உள்ளது. இந்தத் தொகுப்பில் கனமற்ற β வெளிவிடு பொருள்களான நியூட்ரான் ($\log f\,t = 3{\cdot}27$), H^3 ($\log f\,t = 3{\cdot}06$), He^6 ($\log f\,t = 2{\cdot}74$) அடங்கியுள்ளன. அந்தத் தொகுப்பில் பாசிட்ரானை வெளிப்படுத்தும் பொருள்களாவன: ${}_6C^{11}$, ${}_7N^{13}$, ${}_8O^{15}$, ${}_9F^{17}$, ${}_{10}Ne^{19}$, ${}_{11}Na^{21}$, ${}_{12}Mg^{23}$, ${}_{13}Al^{25}$, ${}_{14}Si^{27}$, ${}_{15}P^{29}$, ${}_{16}S^{31}$, ${}_{17}Cl^{33}$, ${}_{18}A^{35}$, ${}_{19}K^{37}$, ${}_{20}Ca^{39}$, ${}_{21}Sc^{41}$, ${}_{22}Ti^{43}$ ஆகியவையும் அடங்குகின்றன. இந்த நியூக்ளைடுகளில் நிறை எண் $A = 2Z - 1$. புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை நியூட்ரான்களின் எண்ணிக் கையைவிட 1 அதிகமாயுள்ளது. ஆகவே ${}_6C^{11} \rightarrow {}_5B^{11} + {}_1e^0 + \nu$ என்ற வினையில் தாய் அணுக்கருவான ${}_6C^{11}$-க்கு ஆறு புரோட்டான்களும் ஐந்து நியூட்ரான்களும் உள்ளன. விளைபொருள் அணுக்கருவான ${}_5B^{11}$-க்கு ஐந்து புரோட்டான்களும் ஆறு நியூட்ரான்களும் உள்ளன. இந்த வகைகளில், தொடக்க நியூக்ளைடுகளும் விளைபொருள் நியூக்ளைடுகளுக்கும், "ஆடி நியூக்ளைடுகள்" (mirror nuclides) எனப்படுகின்றன. இவற்றின் புரோட்டான்கள் நியூட்ரான்கள் எண்ணிக்கையில் உள்ள

முழுதொத்த பண்புகளால் இவை இப்படி அழைக்கப் படுகின்றன. ஆடி நியூக்ளீடுகளில் ஒரு பாசிட்ரான் வெளிப்படும் வாய்ப்பு மிக அதிகம்; ft-ன் மதிப்புகள் மிகக் குறைவாக இருக்கும். இந்தத் தொகுப்பின் log ft மதிப்புகள் மிகக் குறைவாக இருக்கும். இந்தத் தொகுப்பின் log ft-யின் அளவு 2·7-லிலிருந்து 3·7-க்குள் உள்ள உருமாற்றங்கள் 'சலுகை பெற்ற அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றம்' (favoured allowed transition) எனப்படும்.

தங்கள் log ft அளவு 4-லிலிருந்து 5·8-க்குள்ளிருக்கும் இன்னொரு நியூக்ளீடுகளின் தொகுப்பும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அந்த உருமாற்றங்களுக்கு 'இயல்பான அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள்' (normal allowed transitions) என்று பெயர். இதில் B^{12}, N^{12}, S^{35}, Cu^{64}, In^{114} ஆகியவை அடங்கும். நியூக்ளீடு Cu^{64} மிகவும் கவர்ச்சியான தன்மையுடையது. ஏனெனில், அது எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுத்தல், பாசிட்ரான் வெளிப்படுத்தல், K-எலெக்ட்ரான் கவர்தல் ஆகிய நிகழ்ச்சிகளைப் பெற்றிருக்கிறது. எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுத்தலுக்கு log ft-யின் மதிப்பு 5·29; பாசிட்ரான் வெளிப்படுத்தலுக்கு 4·94; இந்த இருவகை உருமாற்றங்களும் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்ட மாற்றங்களாகும்.

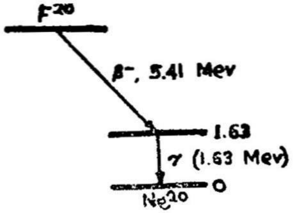
log ft-யின் மதிப்பு 6 முதல் 9-க்குள் இருந்தால் அது ஒரு முறை தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றத்தைக் குறிக்கும். Zr^{97}, Cd^{115}, Ba^{140}, W^{187} ஆகிய நியூக்ளீடுகள் இந்தத் தொகுப்பில் சேர்ந்தவை. RaE எதிலும் சேராத எல்லையிலுள்ளது. இருமுறை தவிர்க்கப் பட்ட உருமாற்றங்கள் மிகக் குறைவானவை. அதன் log ft மதிப்பு 12·2-லிருந்து 13·5 வரை உள்ளது. Cl^{36}, Te^{99}, Cs^{135}, Cs^{137} ஆகியவை இந்த வகை உருமாற்றத்தைச் சேர்ந்தவை. முடிவாக, Be^{10} (log $ft = 13·7$), K^{40} (log $ft = 17·6$) ஆகிய நியூக்ளீடுகளின் உருமாற்றங்கள் அதிகத் தரமுள்ள (power) தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றங்கள். மேலே கூறப்பட்ட உதாரணங்களின் தவிர்க்கப்பட்ட உருமாற்றங்களின் தரத்தை ஆற்றல் மாலையின் வடிவத்துடனும், தாய்க்கரு அல்லது சேய்க் கருவின் கோண உந்தங்களுனுடம் தெளிவாகத் தொடர்புபடுத்த முடியும்.

ஆற்றல் மட்டங்களும் இடநிலை விளக்கப் படங்களும் :

பீட்டா உருமாற்றங்கள், அவற்றின் விளைபொருள் அணுக் கருக்களின் ஆற்றல் மட்டங்களைப் பற்றியும், அவற்றின் சிதைவு

இடநிலை வரைபடங்களைப் பற்றியும் பல உண்மைகளைத் தருகின்றன. இந்த உருமாற்றங்களில் சில சமயங்களில் γ கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன. γ கதிர்வீச்சு இருப்பது, விளைபொருள் அணுக்கரு ஒரு கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் உண்டாக்கப்பட்டுள்ளது என்பதையும், அது ஒன்றோ அல்லது அதிகமாகவோ γ கதிரை வெளிப்படுத்தி அதன் அடிநிலை ஆற்றலுக்குச் செல்கிறது என்பதையும் உணர்த்துகிறது. எந்த γ கதிரும் வெளிப்படவில்லை என்றால் உண்டாக்கப்படும் β ஆற்றல்மட்ட மாற்றம் நேரடியாக விளைபொருள் அணுக்கருவின் ஆற்றல் அடிநிலைக்கு நிகழ்கிறது.

O^{16}-ன் உருமாற்றத்தில் ஒரு பாசிட்ரான் மட்டும் வெளிப்படுகிறது; γ கதிர் வெளிப்படுவதில்லை. முனைப்புள்ளி ஆற்றல் 1·73 Mev; β சிதைவு ஆற்றல் 1·73+1·02 = 2·75 Mev. பாசிட்ரான் வெளிப்படுவது ஆற்றல் ரீதியாக நடைபெறுவதற்கு மிகையான இரண்டு எலெக்ட்ரான் நிறைகள் தேவை என்ற உண்மையின் அடிப்படையில் β சிதைவு ஆற்றலின் அளவு பெறப்பட்டது. ஆகவே, O^{15} மற்றும் N^{15} ஆகியவற்றின் அடிநிலை ஆற்றல்களின் வேறுபாடு 2·75 Mev எனப் புலப்படுகிறது.



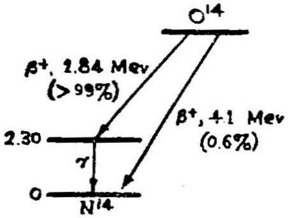
படம் 8—12

F^{20}-ன் பீட்டாச் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம்.

இந்த ஆற்றல் அளவு இந்த இரு நியூக்ளைடுகளின் நிறைகளுக்கிடையேயுள்ள வேற்றுமையின் சம மதிப்புள்ள அளவாகும். படம் 8·12-ல் காட்டப்பட்டுள்ள F^{20} வெளிப்படுத்தும் எலெக்ட்ரான்களின் முனைப்புள்ளி ஆற்றல் 5·41 Mev; வெளிப்படுத்தும் γ கதிர்களின் ஆற்றல் 1·63 Mev. இதன் மொத்தச் சிதைவு ஆற்றல் 7·04 Mev; உண்டாகும் விளைபொருள் அணுக்கருவான Ne^{20} அதன் அடிநிலை மட்டத்திற்கு மேல் 1·63 Mev ஆற்றல் அளவில் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் உள்ளது. இதன் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம் (decay scheme) படம் 8—12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

O^{15} மற்றும் F^{20} ஆகியவற்றின் β மாலைகளும் அவற்றின் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடங்களும் அதிகம் சிக்கலில்லாதவை. சில சமயங்களில் இரண்டு அல்லது அதிகமான β துகள்களின் தொகுப்பு வெளிப்படுத்தப்படுகிறது. அப்போது உண்டாகும் β ஆற்றல் மாலை சிக்கலானதாக

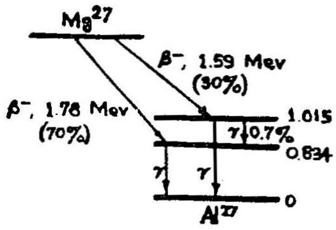
உள்ளது. அதை இரண்டு அல்லது அதிகமான சிக்கலற்ற ஆற்றல் மாலைகளாகப் பிரிக்கலாம்; γ கதிர்களும் உண்டாகின்றன. O^{14}-ன் சிதைவில், 99 சதவீதத்திற்கும் அதிகமான சிதைவுகளில் 1·84 Mev முனைப்புள்ளி ஆற்றல் கொண்ட பாசிட்ரான்கள் வெளிப்படுத்தப் படுகின்றன. 2·30 Mev ஆற்றல் கொண்ட γ கதிர்களும் உண்டாகின்றன. இதன் மொத்தச் சிதைவு ஆற்றல் 1·84 + 1·02 + 2·30 = 5·16 Mev. இதில் 2·86 Mev ஆற்றல், O^{14}-ன் அடிநிலைக்கும் விளைபொருள் அணுக்கருவான N^{14}-ன் கிளர்ச்சியுற்ற நிலைக்கும் உள்ள ஆற்றல்களின் வேற்றுமையாகும். கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலுள்ள N^{14} அணுக்கரு 2·30 Mev ஆற்றல் கொண்ட γ கதிரை வெளிப்படுத்திவிட்டு அதன் அடிநிலை மட்டத்தை அடைகிறது. O^{14}-ன் 0·6 சதவீதச் சிதைவுகளில் அது 4·1 Mev ஆற்றலுள்ள பாசிட்ரான்களை வெளிப்படுத்திவிட்டு நேரடியாக N^{14}-ன் அடிநிலையை அடைகிறது. இதன் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரை படம், படம் 8—13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 8—13

N^{14}-ன் β சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம்

Mg^{27}-ன் β சிதைவு மிகவும் சிக்கலானது; இதன் 70 சதவீதச் சிதைவுகள் 1·78 Mev முனைப்புள்ளி ஆற்றலைச் சார்ந்ததாகவும், 30 சதவீதச் சிதைவுகள் 1·59 Mev முனைப்புள்ளி ஆற்றலைச் சார்ந்ததாகவும் உள்ளன. அப்போது முறையே 0·834 Mev, 1·015 Mev ஆற்றல்கள் கொண்ட γ கதிர்கள் காணப்படுகின்றன; ஒரு சதவீதத்திற்கும் குறைவான சிதைவுகளில் 0·18 Mev ஆற்றல் கொண்ட γ கதிர் காணப்படுகிறது. ஒருங்கு நிகழ்வு (coincidence) சோதனைகளிலிருந்து 1·78 Mev ஆற்றல் கொண்ட β கதிரும் 0·834 Mev ஆற்றல் கொண்ட γ கதிரும் ஒரே ஆற்றல்மட்ட மாற்றத்தைச் சேர்ந்தவை என்று தெரிகின்றது. (அதாவது, அவை இரண்டும் ஒன்றித்து

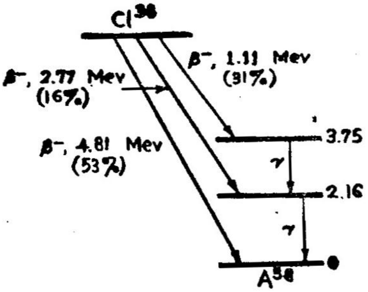


படம் 8—14

Mg^{27}-ன் β சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம்

நிகழ்பவை எனத் தெரிகிறது). மேலும், 1·59 Mev ஆற்றலுள்ள β துகளும் 1·015 Mev ஆற்றல் கொண்ட γ கதிரும் ஒரே ஆற்றல் மட்ட மாற்றத்தைச் சேர்ந்தவை என்றும் தெரிகிறது. மேற் கூறப்பட்ட எல்லா விவரங்களுக்கும் ஒத்த இதன் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம், படம் 8—14-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.

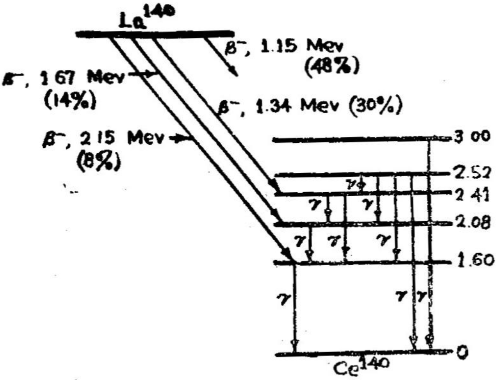
Mg^{27}-ன் அடிநிலையிலிருந்து Al^{27}-ன் அடிநிலைக்கு உள்ள ஆற்றல்மட்ட மாற்றம் மிகவும் தடைசெய்யப்பட்டதாகும். Cl^{38}-ன் எலெக்ட்ரான் சிதைவு மூன்று எலெக்ட்ரான் தொகுப்புகளைக் கொண்டுள்ளது. அதில் இரண்டு வகைக் காமாக் கதிர்கள் காணப்படுகின்றன. இதன் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம், படம் 8—15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 8—15

Cl^{38}-ன் β சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம்

இதைவிட அதிகச் சிக்கலுள்ளது La^{140}-யின் சிதைவாகும். படம் 8—16-ல் இதன் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம் காட்டப் பட்டுள்ளது. இதில் குறைந்தது நான்கு எலெக்ட்ரான் தொகுப்

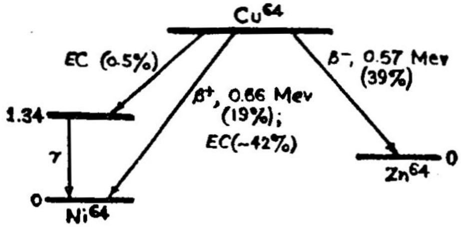


படம் 8—16

La^{140}-ன் β சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம்.

புகளும், குறைந்தது 9 γ கதிர்வகைகளும் காணப்படுகின்றன.

நியூக்ளைடு Cu^{64}-ன் β சிதைவு மிகவும் கவர்ச்சியானது. ஏனெனில், அதிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள், பாசிட்ரான்கள் இரண்டுமே வெளிப்படுகின்றன; மேலும், அதில் சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான் கவர்தலும் நிகழ்கிறது. 39 சதவீதச் சிதைவுகளில் ஓர் எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுத்தப்படுகிறது; இந்த β^- கதிர்மாலை மிகவும் எளிமையானது; முனைப்புள்ளி ஆற்றல் 0·57 Mev. உண்டாகும் விளைபொருள் அணுக்கரு Zn^{64} அதன் அடிநிலையிலேயே உருவாகிறது. 19 சதவீதச் சிதைவுகளில் முனைப்புள்ளி ஆற்றல் 0·66 Mev கொண்ட ஒரு பாசிட்ரான் வெளிப்படுத்தப்படுகிறது. விளைபொருள் அணுக்கருவான Ni^{64} அதன் அடிநிலையிலேயே உருவாகிறது. 42 சதவீதச் சிதைவுகளில் ஒரு K எலெக்ட்ரான் கவரப்படுகிறது. சுமாராக எல்லாக் கவர்தல்களிலும் விளைபொருள் அணுக்கருவான Ni^{64} அதன் அடிநிலையிலேயே உண்டாகிறது. ஆனால், K கவர்தலில் ஒரு சிறிய பங்கில் 1·34 Mev ஆற்றல் கொண்ட ஒரு γ கதிர்



படம் 8—17

Cu^{64}-ன் β சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம்

காணப்படுகிறது. ஆகவே, Ni^{64}-க்கு அதன் அடிநிலை மட்டத்தைவிட 1·34 Mev ஆற்றல் அதிகமாகக் கொண்ட ஒரு கிளர்ச்சியுற்ற ஆற்றல்மட்டம் இருக்கிறது. சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான் கவர்தலுடன் ஒருங்கு நிகழ்வாக γ கதிர் காணப்படுகிறது என்பதும், γ கதிரானது எலெக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரான் வெளிப்படுதலுடன் தொடர்பு கொண்டதல்ல என்பதும் தெளிவாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. படம் 8—17-ல் Cu^{64}-ன் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பகுப்பாய்வு செய்யப்பட்ட சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடங்களில் மிகச்சிலவே மேலே கூறப்பட்டுள்ளன. இதுபோல, சிக்கல்களிலும் விவரங்களிலும் மாறுபட்ட, பல நூற்றுக்கணக்கான சிதைவு இடநிலைகள் ஆராயப்பட்டுள்ளன. இவை அணுக்கரு இயற்பியலில் பயன்படுகின்றன.

9. காமாக் கதிர்கள்

அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்களைப் பற்றிய உண்மைகளை அறிய γ கதிர்களும் ஒரு மூலமே என்று α சிதைவுகளிலும் β சிதைவுகளிலும் கூறப்பட்டது. ஓர் அணுக்கரு அதன் கிளர்ச்சி யுற்ற நிலையிலிருந்து அதைவிடக் குறைவான கிளர்ச்சி நிலைக்குச் செல்லும்போது γ கதிர்கள் வெளிப்படுவதாகச் சுருக்கமாகக் கூறப்பட்டாலும், γ சிதைவு கொள்கையளவிலும் பரிசோதனை அளவிலும் மிகவும் முக்கியமானது. γ கதிர்களின் ஆற்றலை மிகத் துல்லியமாக அளவிடுதலைப் பொறுத்தே γ சிதைவின் ஆராய்ச்சி அமைந்துள்ளது.

γ கதிர்கள் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள். எனவே, அவை காந்தப்புலங்களாலும், மின்புலங்களாலும் விலகல் (deflection) பெறுவதில்லை. ஆகவே, அவற்றின் ஆற்றலை அளவிடும் முறை கள், மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களின் ஆற்றலை அளவிடும் முறைகளினின்றும் மாறுபட்டவை. அவற்றின் ஆற்றலைக் காந்த நிறமாலைமானி கொண்டு அளவிட முடியாது. γ கதிர் களின் ஊடுருவும் திறன் மிக அதிகமானதால் அவை பருப் பொருள்களால் உட்கவரப்படும் விதங்களும், மின்னூட்டப் பொருள்கள் உட்கவரப்படும் விதங்களிலிருந்து மாறுபட்டவை ஆகும். ஆகவே, γ கதிர்கள் பருப்பொருள்களுடன் கொள்ளும் இடையீட்டுச் செயல்களைச் சார்ந்த முறைகளைக்கொண்டே அவற்றின் ஆற்றல்கள் அளவிடப்படுகின்றன.

பருப்பொருள்கள் உட்கவரப்படுதல்

γ கதிர்கள் உட்கவரப்படுவதன் அடிப்படைப் பண்பு:— ஒரு சீரான γ கதிர்க்கற்றை ஒரு பருப்பொருளின் ஒரு மெல்லிய பாளத்தின் (slab) வழியாகச் செல்லும்போது, கற்றையின் செறிவு e-ன் மடியாகக் குறையும் தன்மைதான். செறிவு I கொண்ட ஒரு காமாக் கதிர்க்கற்றை, தடிப்பு Δx கொண்ட ஒரு பாளத்தின் வழியாகச் செல்லும்போது, கற்றையின் செறிவில் உண்டாகும் மாறுபாடு, பாளத்தின் தடிப்பிற்கும் படுகதிர்க் கற்றையின் செறிவிற்கும் நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். அதாவது,

$$\Delta I = -\mu I \Delta x$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள விகிதச் சமனியான μ என்ற மாறிலிக்கு 'உட்கவர் எண்' என்று பெயர். காமாக் கதிர் ஃபோட்டான்கள் யாவும் ஒரே அளவு ஆற்றலைப் பெற்றிருந்தால், μ-வின் மதிப்பு x-ஐப் பொறுத்து அமையாது. ஆகவே, மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டின் தொகு ஆக்கத்திலிருந்து,

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

என்று கிடைக்கிறது. இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து தொடக்கச் செறிவு I_0 கொண்ட ஒரு கற்றைப் பொருளின் X அளவு தடிப்பைக் கடந்த பிறகு பெற்றுள்ள செறிவான I-யைக் கண்டுபிடிக்க முடியும். ஆனால், செறிவு $I = Bh\nu$. இதில். B என்பது, ஓரலகு நேரத்தில் ஓரலகு பரப்பைக் கடக்கும் ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கையையும், $h\nu$ ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றலையும் குறிக்கின்றன. B-க்குப் பாயம் (flux) என்று பெயர். **ஒரு செகண்டில் ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பில் செல்லும் ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கைக்கு பாயம் என்று பெயர்.** I என்பது அதை ஒத்த ஆற்றல் பாயம். ஆகவே,

$$\frac{B}{B_0} = e^{-\mu x}$$

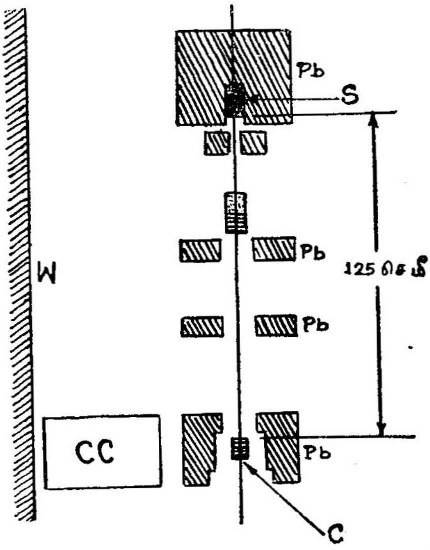
என்றும் எழுதலாம். காமாக் கதிர்கள் உட்கவரப்படுதலைக் குறிக்கும் சமன்பாடுகளும், எக்ஸ் கதிர்கள் உட்கவரப்படுதலைக் குறிக்கும் சமன்பாடுகளும் ஒரே அமைப்பைக் கொண்டவை. இரண்டுமே மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளாதலால், இந்த முடிவு இயல்பானதே ஆகும். உண்மையில் காமாக் கதிர்களுக்கும் எக்ஸ் கதிர்களுக்குமிடையே வேறுபட்ட பண்புகள் எதையும் கண்டுபிடிக்க முடியவில்லை. இப்போது γ கதிர்கள், X கதிர்கள் என்ற சொற்கள் அக் கதிர்களின் தோற்றுவாய்களை உணர்த்தவே பயன்படுத்தப்படுகின்றன. γ கதிர்கள் அணுக்கருக்களிலிருந்து தோன்றுகின்றன. X கதிர்கள், அணுக்கருவிற்கு வெளியேயுள்ள அணுவின் எலெக்ட்ரான்கள் ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து இன்னோர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் தாவுவதால் வெளிப்படும் அதிக ஆற்றலுள்ள கதிர்வீச்சாகும்.

உட்கவர்தலைச் சார்ந்த சமன்பாடுகளுக்கான நிபந்தனைகள் பல உள்ளன. அவையாவன :-

(i) காமாக் கதிர்கள் ஒற்றை ஆற்றல் பெற்றவையாக இருக்க வேண்டும். அதாவது, காமாக் கதிர்க்கற்றை ஒருபடித்தானதாக இருக்க வேண்டும்.

(ii) காமாக் கதிர்க்கற்றை இணையானதாகவும், சிறிய திண்மக் கோணம் பெற்றதாகவும் இருக்க வேண்டும்.

(iii) காமாக் கதிர்க்கற்றையை உட்கவரும் பொருள் மிக மெல்லியதாக இருக்க வேண்டும்.



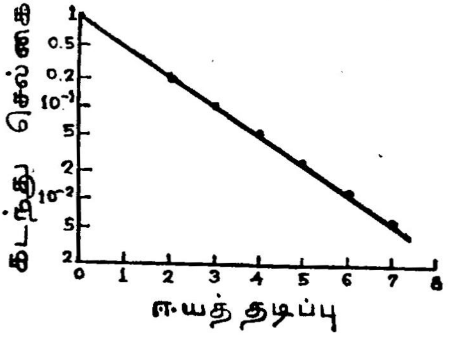
படம் 9—1

காமாக் கதிரின் உட்கவர்தல் எண்ணை அளவிடும் கருவியின் அமைப்பு
S—தோற்றுவாய்; W—சுவர்; CC—எண்ணி மின்காற்று; C—எண்ணி.

பருப்பொருளின் வழியாகக் காமாக் கதிர்க்கற்றை செல்லும் போது, அதன் செறிவு குறையும் விதத்தை ஆராயும் பரிசோதனை அமைப்பு படம் 9-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த அமைப்பில் குறுகலாக்கப்பட்ட இணையான ஒரு காமாக் கதிர்க்கற்றை கிடைக்கிறது. சிறிய இடைவெளியால் பிரிக்கப்பட்டுள்ள தடிப்பான ஈயக்கட்டைக் கவசங்கள், γ கதிர்க்கற்றையின் இணையாக்கியாகச் செயற்படுகின்றன. γ கதிர்களை அளவிடும் எண்ணி ஓர் ஈயக்கவசத்தால் சூழப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் வெளிப்புறத்தில் உள்ள γ கதிர்களும் எலெக்ட்ரான்களும் சிதறடிக்கப்பட்டு எண்ணியுனுள் செல்லாவண்ணம் உட்கவரப்பட்டுவிடுகின்றன. நல்ல இணையாக்கம் கொண்ட பரிசோதனைகளில் ஃபோட்டான்கள் உட்கவரப்பட்டோ அல்லது

சிதறடிக்கப்பட்டோ γ கதிர்க்கற்றையிலிருந்து பிரிக்கப்பட்டு விடுகின்றன. γ கதிர்க்கற்றைப் பாளத்தின் வழியாகச் செல்லும் போது, உட்கவர்தலாலும் பாதை விலகலாலும் உண்டாகும் கூட்டு விளைவால் கற்றையின் செறிவு குறைகிறது. இத்தகைய பரிசோதனையால் உட்கவர்தல் சார்ந்த சமன்பாடுகளின் செல்லுபடியாகும் தன்மை நிரூபிக்கப்படுகிறது.

இப் பரிசோதனையின் முடிவுகள் படம் 9—2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இதில் பயன்படுத்தப்பட்ட உட்கவரும் பொருள் ஈயம்; காமாக் கதிர்த் தோற்றுவாய் Zn^{65}; உண்டாக்கப்படும் காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் 1·14 Mev. γ கதிர்களின் செலுத்துகை பின்னப்பகுதி (fractional transmission) ஒரு லாகரித அளவுத் திட்டத்தில் உட்கவரும் பொருளின் தடிப்புடன் வரைபடத்தில்



படம் 9—2

Zn^{65}-லிருந்து வெளிப்படும் 1·14 Mev ஆற்றலுள்ள γ கதிர்கள் ஈயத்தில் உட்கவரப்படுதல்.

குறிப்பிடப்பட்டால் ஒரு நேர்கோடு கிடைக்கிறது. இது சமன்பாடுகளுடன் மிகவும் ஒத்துள்ளது. இந்த நேர்கோட்டின் வாட்டம், செ. மீ. தடிப்பிற்கான μ - வின் மதிப்பைக் கொடுக்கிறது. படத்தில் $\mu = 0{\cdot}7068 \pm 0{\cdot}0051$. இம் முறையில் உட்கவர்தல் எண்ணுக்குப் பல அளவீடுகள் எடுக்கப்பட்டன. உட்கவர் எண்ணின் மதிப்பு, உட்கவரும் பொருளின் தன்மையையும் γ கதிர்களின் தொடக்க ஆற்றலையும் பொறுத்துள்ளது எனக் காணப்பட்டது.

அட்டவணை 9-I

அளவிடப்பட்ட சில காமாக் கதிர் உட்கவர் எண்கள்

தோற்றுவாய்	உட்கவரும் பொருள்	பரிசோதனைப்படி உட்கவர் எண் μ : செ.மீ.$^{-1}$	கொள்கைப்படி உட்கவர் எண் μ : செ.மீ.$^{-1}$
Mn^{54} (0·835 Mev)	Al	0·1823 ± 0·003	0·1820
	Cu	0·5782 ± 0·0013	0·5718
	Sn	0·4683 ± 0·0014	0·4628
	Ta	1·210 ± 0·004	1·228
	Pb	0·9368 ± 0·0041	0·9256
Zn^{65} (1·14 Mev)	Al	0·1571 ± 0·0022	0·1559
	Cu	0·4862 ± 0·0070	0·4914
	Sn	0·3923 ± 0·0054	0·3858
	Ta	0·9127 ± 0·0100	0·9536
	Pb	0·7068 ± 0·0051	0·7057
Na^{24} (2·76 Mev)	Al	0·0956 ± 0·0026	0·1001
	Cu	0·3164 ± 0·0080	0·3273
	Sn	0·2668 ± 0·0045	0·2692
	Ta	0·6433 ± 0·0055	0·6467
	Pb	0·4776 ± 0·0045	0·4644

டேவிஸ்ஸன், இவான்ஸ் (Davission and Evans) ஆகிய இருவரும் கண்டுபிடித்த உட்கவர் எண்ணின் மதிப்புகள் அட்டவணை 9—I-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. γ கதிர்களின் ஆற்றல் அதிகரிக்கும்போது அதன் உட்கவர் எண் குறைகிறது.

கனமான தனிமங்களின் உட்கவர் எண்கள், கனமற்ற தனிமங்களின் உட்கவர் எண்களைவிட அதிகமாக உள்ளன. உட்கவர் எண் செ.மீ.$^{-1}$ அலகில் வழக்கமாக μ–வால் குறிப்பிடப்படுகிறது; செ.மீ.^{2}/கிராம் அலகில் μ/ρ-வாலும், செ.மீ.^{2}/எலெக்ட்ரான் அலகில் $_e\mu$-யாலும், செ.மீ.^{2}/அணு அலகில் $_a\mu$-யாலும் குறிப்பிடப்படுகிறது. ஆகவே,

$$_a\mu = Z\,_e\mu$$

$$\frac{\mu}{\rho} = N\left(\frac{Z}{A}\right)\,_e\mu = \frac{N}{A}\,_a\mu$$

$$\mu = \rho N\left(\frac{Z}{A}\right)\,_e\mu = \frac{\rho N}{A}\,_e\mu$$

இவற்றில் Z என்பது, அணு எண்; A என்பது, அணு எடை; N என்பது, அவகாட்ரோ எண்; ρ என்பது, கிராம் / க.செ.மீ. அலகில், அடர்த்தி. $_e\mu$-யும், $_a\mu$-வும் முறையே 'ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கான குறுக்குப் பரப்பு' (cross section per electron) என்றும், 'ஓர் அணுவுக்கான குறுக்குப் பரப்பு' என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. γ கதிர்க்கற்றையின் செறிவின் குறைவை, 'அரைத் தடிப்பு' (half thickness) என்ற தொடராலும் குறிப்பிடுவதுண்டு. அதாவது, தொடக்கத்தில் உள்ள செறிவில் பாதியாகும்படி செய்யும் உட்கவரும் பொருளின் தடிப்பு.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

$$\log\frac{I}{I_0} = -0{\cdot}4343\,\mu x$$

அரைத் தடிப்பிற்கு $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}$

ஆகவே, $\log\left(\frac{1}{2}\right) = -0{\cdot}4343\,\mu x_{\frac{1}{2}}$

$$\mu = \frac{0{\cdot}693}{x_{\frac{1}{2}}}$$

இங்கு $x_{\frac{1}{2}}$ என்பது, அரைத் தடிப்பு ஆகும். படம் 9—2-லுள்ள 1·14 Mev ஆற்றலுள்ள γ கதிருக்கான ஈயத்தின் அரைத் தடிப்பு 0·98 செ மீ. ஆகும்.

μ/ρ, μ ஆகியவற்றின் சமன்பாடுகளில் Z அதிகரிக்கும்போது Z/A மெதுவாக மாறுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் பகுதிக்கு e^{μ} சுமாராக எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் ஒரே மதிப்புள்ளதாக இருக்கும். ஆகவே, உட்கவர் எண்ணை e^{μ}-யாகவோ μ/ρ-ஆகவோ குறிப்பிட்டால், அது தனிமத்திற்குத் தனிமம் சிறிதளவுதான் வேறுபட்டிருக்கும். அரைத் தடிப்பு சமன் பாட்டுப்படி

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{0{\cdot}693}{x_{\frac{1}{2}}\,\rho}$$

பொதுவாக, Z மாறும்போது, μ/ρ மிக மெதுவாக மாறுவதால், $(x_{\frac{1}{2}})\,\rho$-வின் மதிப்பு தனிமத்திலிருந்து தனிமத்திற்கு மெதுவாக மாறுபடுகிறது. ஆகவே, γ கதிர்களின் செறிவை ஒரு குறிப் பிட்ட அளவு குறைப்பதற்கு உட்கவரும் பொருளின் அடர்த்தி அதிகமானுல் அதன் தடிப்பு குறையும் என்பது புலப்படுகிறது. அதனுல்தான் γ கதிர்கள், X கதிர்கள் ஆகியவற்றிற்கு ஈயம், இரும்பு போன்ற கனமான உலோகங்கள் பயன்படுத்தப்படு கின்றன. μ/ρ-வும் $(x_{\frac{1}{2}})\,\rho$-வும் சுமாராக மாருமலிருப்பதிலிருந்து கதிர்வீச்சின் செறிவை ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதியாகக் குறைப்ப தற்குத் தேவையான வெவ்வேறு உட்கவரும் பொருள்களின் எடை ஒரே அளவுள்ளவை எனத் தெரிகிறது. ஆனுல், அதிக அடர்த்தியுள்ள பொருள்களுக்குப் பருமஅளவு குறைவாக இருக்குமாதலால் அவற்றின் தடிப்பு குறைந்த அடர்த்தியுள்ள உட்கவரும் பொருள்களின் தடிப்பைவிடக் குறைவாக இருக்கும்.

பருப்பொருள்களுடன் காமாக்கதிர்களின் இடையீட்டுச் செயல்

பருப்பொருள்களுடன் γ கதிர்களின் இடையீட்டுச் செயலானது α துகள் β துகளினதிலிருந்து மிகவும் மாறுபட்டது. காமாக் கதிர்களும், எக்ஸ் கதிர்களும் பொருளில் e-ன் மடியாக உட்கவர்தலைப் பெற்றிருக்கின்றன. அவை மின்னூட்டம் பெற்ற α, β துகள்களைப் போன்று ஒரு குறிப்பிட்ட நெடுக்கம் பெற்றதாக இல்லை. முக்கியமாக, கனமான மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் அணுவின் எலெக்ட்ரான்களுடன் பெறும் அதிகமாக மோதல்களினுல்

தங்களின் ஆற்றல்களை இழக்கின்றன. ஆற்றல் இழப்பு சிறுசிறு அளவுகளாக நடைபெறுகிறது. அதனால் துகள் சீராக மெதுவாக்கப்பட்டு முடிவில் நிறுத்தப்பட்டு உட்கவரப்படுகிறது. ஒரு மெல்லிய உட்கவரும் பொருளின்மேல் γ கதிர் ஃபோட்டான்களின் கற்றை ஒன்றுபடும்போது, கற்றையிலிருந்து பிரிக்கப்படும் ஒவ்வொரு ஃபோட்டானும் தனித்தனியாகப் பிரித்து எடுக்கப்படுகின்றது. இந்த நிகழ்ச்சி ஓர் உட்கவர்தல் நிகழ்ச்சியாக இருக்கலாம்; அப்போது ஃபோட்டான் மறைந்துவிடுகிறது. அல்லது அந்த ஃபோட்டான் γ கதிர்க்கற்றையிலிருந்து பிரிக்கப்பட்டுச் சிதறடிக்கப்படலாம். பிரிக்கப்படும் நிகழ்ச்சியின் தனித்தனியான 'ஒற்றை எறிவு' (one shot) தன்மைதான் உட்கவர்தலின் e-ன் மடித்தன்மைக்கும் காரணமாகும். ஆகவே, தடிப்பு Δx வழியாகச் செல்லும்போது γ கதிர்க் கற்றையிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்படும் ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கை, தடிப்பு Δx-க்கும் அந்தத் தடிப்பை அடையும் ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கைக்கும் நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. இந்த நேர்விகிதப் பொருத்தந்தான் e-ன் மடி உட்கவர்தல் விதிக்குக் காரணமாகிறது.

γ கதிர்களின் உட்கவர்தலுக்கு மூன்று நிகழ்ச்சிகள் காரணமாகின்றன. அவையாவன :—

(1) ஒளிமின் உட்கவர்தல்.

(2) அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களால் உண்டாக்கப்படும் காம்ப்டன் சிதறல் (Compton Scattering).

(3) γ கதிர்களுக்கும் அணுக்கருவின் மின்புலங்களுக்கும் இடையே ஏற்படும் இடையீட்டுச் செயலின் விளைவாக எலெக்ட்ரான் — பாசிட்ரான் இரட்டைகள் உண்டாக்கப்படுதல்.

இந்த ஒவ்வொரு நிகழ்ச்சியும் உண்டாகும் வாய்ப்பை குவாண்டம் இயக்கவியல்படி தனித்தனி உட்கவர் எண் சார்பாகச் சமன்பாடாகப் பெறமுடியும். இப் பகுதியின் தொடக்கத்தில் கொடுக்கப்பட்ட உட்கவர் எண், இந்த மூன்று உட்கவர் எண்களின் கூட்டுத்தொகையே ஆகும். உட்கவர் எண் உட்கவரும் பொருளின் தன்மையையும், அதன்மேல் படும் γ கதிர்க் கற்றையின் தொடக்க ஆற்றலையும் பொறுத்துள்ளது. ஆகவே, γ கதிர்களின் உட்கவர்தலை ஒரு குறிப்பிட்ட வாய்பாட்டாலோ அல்லது ஒரு நெடுக்கம்—ஆற்றல் வளைகோடாகவோ குறிப்பிட

முடியாது. ஒவ்வொரு பகுதிக்கும், ஆற்றலின் சார்பாக உட்கவர் எண் கணிக்கப்பட்டு, அவற்றைப் பயன்படுத்தி அப் பொருளின் மொத்த உட்கவர் எண் கணக்கிடப்பட வேண்டும். அதாவது,

$$\mu (E) = \tau (E) + \sigma (E) + \kappa (E)$$

இதில் τ, σ, k ஆகியவை ஒளிமின், காம்ப்டன், இரட்டை உண்டாதல் உட்கவர் எண்களை முறையே குறிப்பிடுகின்றன. இவற்றைத் தனித்தனியே பார்க்கலாம்.

ஒளிமின் உட்கவர்தல்

ஒளிமின் விளைவின் போது, உட்கவரும் பொருளின்மேல் படும் ஃபோட்டானின் ஆற்றலான $h\nu$ முழுவதும் பிணைக்கப் பட்டுள்ள எலெக்ட்ரானுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இந்த எலெக்ட்ரான் அணுவிலிருந்து $T = h\nu - I$ என்ற மதிப்புக் கொண்ட இயக்க ஆற்றலுடன் வெளிப்படுத்தப்படுகிறது. இங்கு I என்பது, எலெக்ட்ரானின் அயனியாக்க மின்னழுத்தம். உட்கவரும் பொருளிலிருந்து எலெக்ட்ரான் வெளியேற்றப் படலாம். அல்லது உட்கவரும் பொருள் மிக மெல்லியதாக இல்லாமலிருந்தால், திடப்பொருளில் எலெக்ட்ரானின் நெடுக்கம் மிகச்சிறியதாகையால், வெளியேற்றப்பட்ட எலெக்ட்ரான் மறுபடியும் உடனே உட்கவரப்படலாம். குறைந்த ஃபோட்டான் ஆற்றல்களில் (அலுமினியத்திற்கு 50 Kev-க்குக் கீழேயும், ஈயத்திற்கு 500 Kev-க்குக் கீழேயும்) ஒளிமின் விளைவு உட்கவர்தலே, உட்கவர் எண்ணை அதிகமாக நிர்ணயிக்கிறது.

$h\nu$ ஆற்றல் கொண்ட ஒரு ஃபோட்டான், ஒளிமின் உட்கவர்தல் (Photoelectric absorption) பெறும் வாய்ப்பிற்கு குவாண்டம் இயக்கவியல் முறையில் வாய்பாடுகள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளன. உட்கவரும் பொருளின் அணு எண்ணையும் ஃபோட்டானின் ஆற்றலையும் பொறுத்து உட்கவர் எண் உள்ளது என்பதன் முக்கியத் தனிச்சிறப்பு, மிக எளிதான வாய்பாடுகளில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஃபோட்டானின் ஆற்றலானது சார்புக் கொள்கைப்படி உண்டாகும் திருத்தங்கள் முக்கியமாகாதபடி சிறியதாயிருந்து, ஆனால் K கூடு எலெக்ட்ரான் களின் பிணைப்பு ஆற்றல் விட்டுவிடும்படி பெரியதாக இருக்குமானால், அப்போது ஒளிமின் உட்கவர்தலுக்கான ஓரணுவின் குறுக்குப் பரப்பு

$$_{a}\tau = \phi_0 Z^5 \left(\frac{1}{137}\right)^4 4\sqrt{2} \left(\frac{m_0c^2}{h\nu}\right)^{7/2}$$

இங்கு $\phi_0 = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{m_0c^2}\right)^2 = 6{\cdot}651 \times 10^{-25}$ செ.மீ.

$h\nu$ என்பது, உட்கவரும் பொருளின்மேல் படும் ஃபோட்டானின் ஆற்றல்; m_0c^2 என்பது, எலெக்ட்ரானின் அமைதிநிலை ஆற்றல்; Z என்பது, உட்கவரும் பொருளின் அணு எண்; ϕ_0 என்பது, குறுக்குப் பரப்பை அளவிடும் ஒரு வசதியான அலகு. ϕ_0 என்பது, அமைதி நிலையிலுள்ள ஒரு தன்னிச்சையான எலெக்ட்ரானுல் குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட ஃபோட்டான்களுக்கு உண்டாகும் சிதறடிப்பிற்கான குறுக்குப் பரப்பைக் குறிப்பிடுகிறது. இப்படிப்பட்ட சிதறலுக்குத் 'தாம்சன் சிதறல்' (Thompson Scattering) என்று பெயர்.

இந்தச் சமன்பாடு அணுவின் K கூட்டிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுவதற்கு மட்டுந்தான் பொருந்தும். ஆனுல், இந்த K கூடு எலெக்ட்ரான் வெளிவிடுதலே 80 சதவீத ஒளிமின் விளைவிற்குக் காரணம். சமன்பாட்டில் $_{a}\tau$ யானது, Z^5-க்கு நேர்விகிதத்திலும், $(h\nu)^{7/2}$-க்கு எதிர்விகிதத்திலும் உள்ளது. $_{a}\tau$ யானது Z^5-ஐச் சார்ந்துள்ளதால், ஒளிமின் உட்கவர்தல் நிகழ்ச்சி ஈயம் போன்ற கனமான உலோகங்களில் மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது என்பதும், அலுமினியம் போன்ற கனமற்ற உலோகங்களில் ஒளிமின் உட்கவர்தல் அவ்வளவு முக்கியமானதல்ல என்பதும் புலப்படுகிறது. ஆகவே, கனமான தனிமங்களால் குறைந்த ஆற்றல் பெற்ற ஃபோட்டான் உட்கவரப்படும்போது ஒளிமின் விளைவு முக்கியத்துவம் அடைகிறது.

காம்ப்டன் சிதறல் :

கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, ஒளிமின் விளைவிற்குப் பதிலாக காம்ப்டன் சிதறல் மூலமாக, γ கற்றையிலிருந்து ஃபோட்டான்கள் பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன. காம்ப்டன் சிதறலில், சிதறடிக்கும் பொருளிலுள்ள அணுவின் எலெக்ட்ரானுல் அதன்மேல் படும் ஃபோட்டான் சிதறடிக்கப் படுகிறது என்பதும், அப்போது அந்த எலெக்ட்ரான் அதன் அணுவிலிருந்து பிரிக்கப்படுகிறது என்பதும் நன்கு தெரிந்ததே. சிதறடிக்கப்பட்ட ஃபோட்டான் அதன் மூலத்திசையிலிருந்து ஒரு

கோணத்தில் தன்னுடைய தொடக்க ஆற்றலைவிடக் குறைவான ஆற்றலுடன் செல்கிறது. ஃபோட்டானின் செல்திசையில் ஏற்படும் மாற்றம் அதை γ கதிரின் கற்றையிலிருந்து பிரித்தெடுக்க உதவுகிறது. அலுமினியத்திற்கு ஆற்றல் 0·050 **Mev**-யிலிருந்து 15 **Mev** வரையிலும், ஈயத்திற்கு ஆற்றல் 0·5 **Mev**-யிலிருந்து 5 **Mev** வரையிலும் இருக்கும் போது அவற்றின் உட்கவர் எண்ணை முக்கியமாக காம்ப்டன் சிதறல் நிர்ணயிக்கிறது.

இந்த ஆற்றல் எல்லைகளில், படும் γ கதிர்க்கற்றையின் ஆற்றல், அணுவின் எலெக்ட்ரான்களின் பிணைப்பாற்றலைவிட மிக அதிகமாக உள்ளது. ஆகவே, இந்த நிகழ்ச்சியை, அமைதி நிலையிலுள்ள தன்னிச்சையான எலெக்ட்ரானால் ஒரு ஃபோட்டானுக்கு உண்டாக்கப்படும் சிதறடிப்பு எனக் கொள்ளலாம். மேலும், அணுவிலுள்ள ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் தனித்தனியாகச் சிதறுவதால் ஓர் அணுவுக்கான காம்ப்டன் உட்கவர்தல் எண், அணு எண் Z-க்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. ஒரு காம்ப்டன் சிதறலினால் ஃபோட்டானுக்கு உண்டாகும், ஆற்றல் இழப்பினால் ஏற்படும், அலைநீள வேறுபாட்டைக் கீழ்க்காணும் சமன்பாடு தருகிறது.

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$$

இங்கு λ_0 என்பது, மோதலுக்கு முன்பு ஃபோட்டானின் அலைநீளத்தைபும், λ என்பது, மோதலுக்குப் பின்பு ஃபோட்டானின் அலைநீளத்தையும், ϕ என்பது, ஃபோட்டானின் மோதலுக்கு முன்பு இருந்த செல்திசைக்கும் பின் உள்ள செல்திசைக்கும் இடையே உள்ள கோணத்தையும் குறிக்கின்றன.

$$\lambda = \frac{c}{v}$$

எனவே, $$\frac{c}{v} - \frac{c}{v_0} = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$$

அல்லது $$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} = \frac{h}{m_0 c^2}(1 - \cos\phi)$$

இதிலிருந்து $$\nu = \frac{1}{\frac{1}{\nu_0} + \frac{h}{m_0c^2}(1-\cos\phi)}$$

ஆகவே, $$h\nu = \frac{h\nu_0}{1 + \frac{h\nu_0}{m_0c^2}(1-\cos\phi)}$$

இந்தச் சமன்பாடு, சிதறடிக்கப்பட்ட ஃபோட்டானின் ஆற்றலை, ஃபோட்டானின் தொடக்க ஆற்றல், சிதைவுக் கோணம் ஆகியவற்றின் சார்பாகக் கொடுக்கிறது. காம்ப்டன் சிதறலில் பின் உந்தப்பட்ட எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல்

$$T = h\nu_0 - h\nu$$

$$= \frac{\frac{h\nu_0}{m_0c^2}(1-\cos\phi)}{1 + \frac{h\nu_0}{m_0c^2}(1-\cos\phi)}$$

இதில் $\phi = 180°$ அல்லது $\cos\phi = -1$ என்றிருக்கும்போது பின் உந்தப்பட்ட எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் பெரும அளவு பெறுகிறது. அதாவது, ஃபோட்டான் நேராகப் பின்னால் உந்தப்பட வேண்டும். அப்போது,

$$T_{\max} = \frac{h\nu_0}{1 + \frac{m_0c^2}{2h\nu_0}}$$

ஃபோட்டான் அதன் செல்திசையிலேயே அதே அதிர்வெண்ணுடன் மோதலுக்குப் பிறகு செல்லும்போது, பின் உந்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான் மிகக்குறைந்த ஆற்றலைப் பெறுகிறது. அப்போது ஃபோட்டானின் செல்திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் சுழி திசைவேகத்துடன் எலெக்ட்ரான் வெளியே தள்ளப்படுகிறது. இது ஒற்றை காம்ப்டன் சிதறல் நிகழ்ச்சியாகும்.

γ கதிர்களின் செறிவு பொருள்களுக்குள் குறைவதற்கு காம்ப்டன் சிதறல் எவ்வளவு தூரம் காரணமாகிறது என்பதைக் கண்டுபிடிக்க, அப்படிப்பட்ட சிதறல் நிகழ்வதற்கான

வாய்ப்புகளைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். இந்த வாய்ப்பு, கிளெய்ன், நிஷினு (Klein and Nishina) என்ற இருவரால், சார்புக் குவாண்டம் இயக்கவியலின் அடிப்படையில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கான குறுக்குப் பரப்பான e^{σ}-க்கு, γ கதிரின் படுகற்றையிலிருந்து ஃபோட்டான் பிரிக்கப்படும்போது ஒரு வாய்பாடு கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

$$e^{\sigma} = \frac{3}{4}\phi_0 \left\{ \frac{1+\alpha}{\alpha^2}\left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \frac{1}{\alpha}\ln(1+2\alpha)\right] + \frac{1}{2\alpha}\ln(1+2\alpha) - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2} \right\}$$

இங்கு $\alpha = \frac{h\nu_0}{m_0c^2}$

$$\phi_0 = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{m_0c^2}\right)^2$$

இந்த e^{σ}-ன் மதிப்பை $\rho N(Z/A)$-யால் பெருக்கினுல் காம்ப்டன் உட்கவர்தல் எண் σ (செ.மீ.)$^{-1}$ கிடைக்கிறது.

$$\sigma\,(\text{செ.மீ.})^{-1} = \rho N \frac{Z}{A}\, e^{\sigma}.$$

சில சமயங்களில் சிதறடிக்கப்பட்ட ஃபோட்டான் மோதலுக்குப் பிறகு எடுத்துச் செல்லும் ஆற்றலும் ($e^{\sigma}s$), பின் உந்தப்படும் எலெக்ட்ரான் மோதலில் உட்கவர்ந்த ஆற்றலும் ($a^{\sigma}s$) ஆகியவை தெரியவேண்டியிருக்கும்.

$$e^{\sigma}s = \frac{3}{8}\phi_0\left[\frac{1}{\alpha^3}\ln(1+2\alpha) + \frac{2(1+\alpha)(2\alpha^2-2\alpha-1)}{\alpha^2(1+2\alpha)^2} + \frac{8\alpha^2}{3(1+2\alpha)^3}\right]$$

இந்த அளவு $e^{\sigma}s$ ஆனது 'ஆற்றல் உட்கவரப்படுவதற்கு எலெக்ட்ரானுக்கான காம்ப்டன் குறுக்குப் பரப்பு' எனப்படுகிறது. e^{σ} என்பது $e^{\sigma}s$, $e^{\sigma}a$ இரண்டின் கூட்டுத் தொகையாகும்.

எனவே, $e\sigma = e\sigma_s + e\sigma_a$

மேலும், $\sigma_s = \rho N \frac{Z}{A} e\sigma_s$

$$\sigma_a = \rho N \frac{Z}{A} e\sigma_a$$

$$\therefore \sigma = \sigma_s + \sigma_a.$$

இந்த எலெக்ட்ரான்கள் சில சமயங்களில் உட்கவரப்பட்டு அவற்றின் ஆற்றல் வெப்பமாக வெளிப்படுவதுண்டு. நடைமுறையில் சில சமயங்களில், உட்கவரும் பொருள்களின் வழியாக γ கதிர்கள் செல்லும்போது அவற்றின் செறிவு குறைவதால், எவ்வளவு வெப்பம் உண்டாக்கப்பட்டது என்பது தெரியவேண்டியுள்ளது. இந்த வெப்பத்திற்கு காம்ப்டன் சிதறலின் பங்கு என்ன என்பதை $e\sigma_a$-க்கான சமன்பாடு மூலம் பெறலாம்.

$e\sigma$, $e\sigma_s$ ஆகியவற்றுக்கான சமன்பாடுகளிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கான காம்ப்டன் சிதறல் **Z**-ஐப் பொறுத்து இல்லையென்பதும், ஓர் அணுவுக்கான சிதறல் **Z**-க்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது என்பதும் தெரிகிறது. 'நிறை சிதறல் எண் (**mass-scattering coefficient**) என்பது σ/ρ ஆகும்.

$$\frac{\sigma}{\rho} = N \frac{Z}{A} e\sigma.$$

இது Z உடன் மெதுவாக மாறுகிறது. ஆகவே, ஆற்றல் அதிகரிக்கும்போது காம்ப்டன் சிதறல், ஒளிமின் உட்கவர்தல் குறையும் வீதத்தைவிட மிக மெதுவாகக் குறைகிறது. கனமான தனிமங்களிலுங்கூட ஆற்றல் எல்லை 0·6 Mev-யிலிருந்து 2·5 Mev வரை காம்ப்டன் சிதறல்தான், γ கதிர்க் கற்றையின் செறிவு குறைவதற்கு மிக முக்கியமான காரணமாக உள்ளது. இதுவரை ஒற்றை ஃபோட்டானின் சிதறல்தான் பார்க்கப்பட்டது. தடிப்பான உட்கவரும் பொருள்களில் ஒற்றைக் காம்ப்டன் சிதறலில் இழக்கப்பட்டதாகக் கருதப்பட்ட ஃபோட்டான் மறுபடியும் பல முறை சிதறடிக்கப்பட்டு, கண்டுணரும் கருவியை அடையலாம். γ கதிர்களின் இப்படிப் பட்ட பன்முக காம்ப்டன் சிதறல், அணுக்கரு உலைகளில் பணிபுரிபவர்களுக்குக் கவசங்கள் தயாரிக்கும்போது கவனிக்கப் பட வேண்டும். இதனைப் பற்றிய ஆய்வுகள் கொள்கையளவிலும் சோதனையளவிலும் நடைபெற்று வருகின்றன.

எலெக்ட்ரான் — பாசிட்ரான் இரட்டை

போதிய அளவு அதிகமான ஆற்றல்களில் ஒளிமின் உட்கவர்தலும், காம்ப்டன் சிதறலும் முக்கியத்துவம் இழக்கின்றன. அப்போது எலெக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் இரட்டை உற்பத்தி நிகழ்கிறது. இந் நிகழ்ச்சியில், ஓர் அணுக்கருவின் கூலும் மின்புலத்தினுள் போதுமான ஆற்றலுள்ள ஒரு γ கதிர் மறைந்து ஓர் எலெக்ட்ரானும் ஒரு பாசிட்ரானும் உண்டாகின்றன. உண்டாக்கப்பட்ட இரட்டையின் மொத்த ஆற்றல் உட்கவரும் பொருளின்மேல்படும் γ கதிரின் ஆற்றலான $h\nu$-க்குச் சமமாக உள்ளது. இரட்டையின் இயக்க ஆற்றல் $T = h\nu - 2m_0c^2$. இதில் அணுக்கருவின் சிறிய பின்உந்த ஆற்றல் கருதப்படவில்லை. இரட்டைத் துகள்கள் உண்டாக $h\nu$-வின் மதிப்பு $2\,m_0\,c^2$ அல்லது 1·02 Mev-யின் அளவைவிட அதிகமாக இருக்க வேண்டும். $h\nu < 2\,m_0\,c^2$ என்றிருந்தால் இரட்டைகள் உற்பத்தி ஆக முடியாது. ஏனெனில், இந்த அளவு ஆற்றல் இரு துகள்களுக்குமான அமைதிநிலை ஆற்றலைக் கொடுக்கத் தேவைப்படுகிறது. மின்னூட்டம் மாறாமல் இருக்க வேண்டுமானால் இரட்டைத் துகள்கள் எதிர் மின்னூட்டங்களைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். ஈயத்திற்கு ஃபோட்டான் ஆற்றல் 5 Mev-யையும் அலுமினியத்திற்கு 15 Mev-யையும் விட ஆற்றல் அதிகமாக இருக்கும்போது, அவற்றில் காம்ப்டன் சிதறலைவிட இரட்டை உற்பத்தி வாய்ப்பு அதிகரிக்கிறது. ஃபோட்டான் ஆற்றல்கள் 1·02 Mev-யைவிடக் குறைவாக இருக்கும்போது ஓர் அணுவின் குறுக்குப் பரப்பான a^{κ}-யின் வாய்ப்பு சுழியாகிறது. அதைவிட அதிக ஆற்றல்களுக்கு வாய்ப்பு தொடக்கத்தில் மெதுவாகவும் பிறகு விரைவாகவும் அதிகரிக்கிறது. வாய்ப்பு, Z^2-க்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. இரட்டைகள் உண்டாகும் வாய்ப்பு $\bar{\Phi}$ என்ற அளவின் அலகில் குறிக்கப்படுகிறது.

$$\bar{\Phi} = \frac{Z^2}{137}\left(\frac{e^2}{m_0c^2}\right)^2 = Z^2 \times 5{\cdot}796 \times 10^{-28} \text{ செ.மீ.}^2$$

$a\kappa/\bar{\Phi}$ யின் வளைகோடுகள் $\alpha = \dfrac{h\nu}{m_0c^2}$-ன் சார்பாக வரையப்படுகின்றன. ஃபோட்டான் ஆற்றல்கள் சுமாராக $10\ m_0c^2$ அல்லது 5 Mev-க்கு அதிகமாக உள்ளபோது ஏற்படும் (screening) ‘காப்பிடல்’ விளைவைக் கருத வேண்டும். இந்த

அளவு ஆற்றல்களில் எலெக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் இரட்டை அணுக்கருவிலிருந்து சிறிது தொலைவிலேயே உண்டாகின்றன. இந்தத் தொலைவு சில எலெக்ட்ரான் கூடுகளுக்கு வெளியில் இருக்குமானால், இரட்டைகள் உண்டாகும் மின்புலம் அணுக் கருவின் மின்புலத்தைவிடச் சிறியதாயிருக்கும். ஆகவே, இரட்டை உண்டாகும் வாய்ப்பு குறைக்கப்படுகிறது. இதனால் அதிக ஆற்றல்களில் (25 Mev வரையில்) ஈயத்திற்கான மதிப்புகள் காற்று அல்லது அலுமினியத்திற்கான மதிப்புகளை விடச் சிறியனவாயிருக்கும். இதைவிட அதிகமான ஆற்றல் களில் 'காப்பிடல் விளைவு' இன்னும் அதிகமாக இருக்கும்.

எலெக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் இரட்டை உண்டாகும் முறை, எலெக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் அழிவு முறைக்கு (annihilation) நேர் எதிரானது. ஒரு பாசிட்ரான் உண்டான பிறகு அணுக் களின்மீது ஏற்படும் மோதல்களினால் அது அமைதி நிலைக்கு வரும்வரை மெதுவாக்கப்படுகிறது. அப்போது அமைதி நிலையி லுள்ள ஓர் எலெக்ட்ரானுடன் இடையீட்டுச் செயல் ஏற்படு கிறது. இரண்டு துகள்களும் மறைந்து, இரண்டு ஃபோட்டான் கள் உண்டாகி அவை எதிர் எதிர்த் திசைகளில் செல்கின்றன. அவை ஒவ்வொன்றின் ஆற்றல், எலெக்ட்ரானின் அமைதி நிலை ஆற்றலுக்குச் சமமான 0·511 Mev ஆகும். அணுக்கருக்களுக்கு வெளியே அழிவு நடைபெற்றால், உந்தம் மாறாக் கோட்பாடு நிலைநிறுத்தப்பட இரண்டு ஃபோட்டான்கள் தேவைப்படு கின்றன. எலெக்ட்ரான் — பாசிட்ரான் இரட்டை அழிவில் உண்டாகும். ஃபோட்டான்களுக்கு 'அழிவுக் கதிர்வீச்சு' (annihilation radiation) என்று பெயர். இரட்டைகள் உண்டாகும் முறையால் γ கதிர்கள் உட்கவரப்படும்போது இந்தக் குறைந்த ஆற்றலுடைய இரண்டாம் நிலைக் கதிர்வீச்சு நிகழ்வதால், இது சிக்கலானதாக உள்ளது.

மேற்கூறிய மூன்று விளைவுகளைத் தவிர இன்னும் சில சிறு விளைவுகளும், γ கதிர்க்கற்றையின் செறிவு குறையும்போது உண்டாகின்றன. இந்தச் சிறு விளைவுகளில் முக்கியமானது 'ஓரியல் சிதறல்' (coherent scattering). இது மொத்த அணுக் களால் அல்லது மூலக்கூறுகளால் உண்டாக்கப்படுகிறது. குறைந்த ஆற்றல்களில் அதிக Z உள்ள பொருள்களின் உட்கவர் எண்ணின் மதிப்பை இந்த விளைவு அதிகமாக்குகிறது. இது போலவே, அதிக Z உள்ள பொருள்களின் அணுக்கருக் களிலிருந்து அதிக ஆற்றலுள்ள ஃபோட்டான்கள் நியூட் ரான்களை வெளிப்படுத்தும் வினையான அணுக்கரு ஒளிமின்

விளைவும் (nuclear photoelectric effect) ஒன்றாகும். இன்னொன்று, எலெக்ட்ரான்களுக்குப் பதிலாக அணுக்கருக்கள் உண்டாக்கும் தாம்சன் மற்றும் காம்ப்டன் சிதறல் ஆகும். நடைமுறையில் இந்தச் சிறு விளைவுகள் அவ்வளவாகக் கருதப் படுவதில்லை.

ஆற்றல் எல்லைகள் 0·1 Mev-யிலிருந்து 6 Mev வரை ஒளிமின் உட்கவர்தல், காம்ப்டன் சிதறல், இரட்டை உற்பத்தி ஆகிய வற்றின் கொள்கைகளிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட உட்கவர் எண் களின் மதிப்புகள், பரிசோதனைகளில் காணப்பட்ட மதிப்பு களுடன் மிகவும் ஒத்துள்ளன. தனிம அட்டவணையில், கரியி லிருந்து ஈயம் வரை உள்ள தனிமங்களுக்கு இந்தக் கொள்கை மதிப்புகளும் சோதனை மதிப்புகளும் மிகவும் ஒத்துள்ளன.

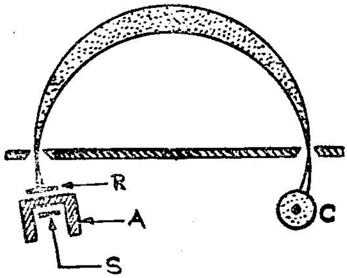
ஆற்றல்களை அளவிடுதல்

காமாக் கதிர்கள் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள்; ஒரு படிகத்தை விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணியாகப் பயன்படுத்தி γ கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் கண்டுபிடித்து அதிலிருந்து ஆற்றலைக் கணக்கிடு வதே நேரடியான முறையாகும். இதற்காக டுமோன்ட் பயன் படுத்திய 'வளைந்த படிக குவிக்கும் வகை நிறமாலை மானி' மூன்றாம் அத்தியாயத்தில் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

டுமோன்ட் காமாக் கதிர் நிறமாலைமானி அழிவுக்கதிர் வீச்சு ஆற்றலைக் கண்டுபிடிக்கவும் பயன்படுத்தப்பட்டது. Cu^{64}-லிருந்து கிடைக்கும் பாசிட்ரான்களின் அழிவிலிருந்து உண்டாகும். ஃபோட்டான்களின் ஆற்றல் $510·941 \pm 0·067$ Kev என்று கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இப் பரிசோதனை செய்யப்பட்டபோது இருந்த மிகவும் சரியான எலெக்ட்ரானின் அமைதிநிலை ஆற்றல் $510·969 \pm 0·015$ Kev ஆகும். ஆகவே, பரிசோதனை மூலம அளவிடப்பட்ட அழிவுக் கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் மதிப்பு, அழிவு நிகழ்ச்சிக் கொள்கைப்படி கணக்கிடப்பட்ட ஆற்றல் மதிப்புடன் மிகவும் ஒத்திருந்தது. இந்த அளவுகளைக்கொண்டு பாசிட்ரான் மற்றும் எலெக்ட்ரான் ஆகியவற்றின் நிறைகளில் வேறுபாடு உள்ளதா என்பதையும் கணக்கிட முடிந்தது. இரண்டு துகள்களின் நிறைகளில் வேற்றுமை இருப்பதற்கு ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கு சான்றுகூடக் கிடைக்கவில்லை. இதே முடிவு துகள்களின் m/e விகிதம் காணும் பரிசோதனை முடிவுடன் சேர்த்து, எலெக்ட் ரானும், பாசிட்ரானும் அவற்றின் மின்னூட்டத்தின் குறிகளைத் தவிர மற்ற எல்லாப் பண்புகளிலும் முழுதொத்தவையாக உள்ளன என்பது தீர்மானிக்கப்பட்டுள்ளது.

வளைந்த படிக நிறமாலைமானி மேம்படுத்தப்பட்டு எளிமையாக்கப்பட்டு, நியூட்ரான் கவர்தலினால் உண்டாகும் γ கதிர்களை ஆராயப் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இக் கருவியின் துல்லியமான அளவீடுகளால் டியூட்ரான் பிணைப்பாற்றல் 2·2255±0·0015 Mev என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

மிதமான ஆற்றல் கொண்ட காமாக் கதிர்களை கதிர்வீசுவான் (radiator) எனப்படும் தகுந்த பொருளிலிருந்து வெளியே புறப்படும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களையும், காம்ப்டன் பின் உந்தம் எலெக்ட்ரான்களையும் கொண்டு ஆராயப்படுகின்றன. வெளியேற்றப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல்கள் காந்த நிறமாலைமானியைக்கொண்டு அளவிடப்படுகிறது. காம்ப்டன் விளைவைப் பயன்படுத்தும் போது, எல்லா முதல்நிலை எலெக்ட்ரான்களையும் மற்ற மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களையும் நிறுத்திவிட்டு γ கதிர்களை அனுப்பும் அளவு தடிப்புள்ள, குறைந்த அணுஎண் கொண்ட அலுமினியம் போன்ற பொருளால் ஆன, ஓர் உட்கவரும் கவசத்தினுள் தோற்றுவாய் வைக்கப்பட்டுள்ளது. மெல்லிய தகடாக உள்ள கதிர்வீசுவானிலிருந்து வெளிப்படுத்தப்படும் காம்ப்டன் எலெக்ட்ரான்கள் நிறைமாலைமானியில் குவிக்கப்பட்டு, ஒரு தெளிவாக வரையறுக்கப்பட்ட உச்ச அளவைக் கொண்ட ஒரு தொடர்நிறமாலை உண்டாகிறது. இந்த உச்ச அளவு, உட்கவரும் கவசத்தின் மேற்பரப்பிலிருந்து முன் திசையில் வெளிப்படுத்தப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றலை



படம் 9—3

ஒரு மூலத்திலிருந்து β, γ கதிர்கள் வெளிப்படும்போது γ கதிர்களின் ஆற்றலை அளவிடும் அமைப்பு.
S—தோற்றுவாய்; C—எண்ணி;
R—கதிர்வீசுவான்;
A—உட்கவர் பொருள்.

ஒத்துள்ளது. இந்த அளவு $T_{max} = \dfrac{h\nu_0}{1+\dfrac{m_0 c^2}{2h\nu_0}}$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும் γ கதிர்களின் ஆற்றலைக் கொடுக்கின்றது. T_{max} என்பது, எலெக்ட்ரானின் பெரும அளவு ஆற்றலையும் $h\nu$ என்பது, வேண்டிய γ கதிர் ஆற்றலையும் குறிப்பிட்டால்

$$h\nu = \frac{1}{2}\left[T_m + (T_m^2 + 2T_m m_0 c^2)^{\frac{1}{2}} \right]$$

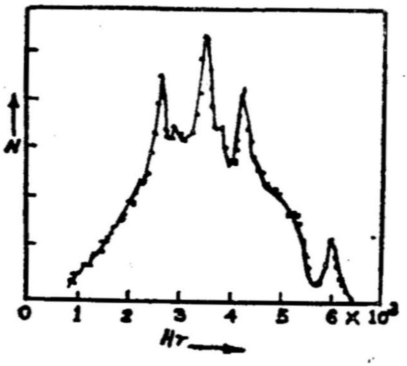
ஒரு தோற்றுவாயிலிருந்து β துகள்களும், γ கதிர்களும் வெளிப்படும் வகைகளில் γ கதிர்களின் ஆற்றல்களை அளவிடும் பரிசோதனை அமைப்பு படம் 9—3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

கதிர்வீசுவான் நடுத்தர அல்லது அதிக அணு எண் கொண்ட பொருளின் மெல்லிய தகடாயிருந்தால், அதிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளி எலெக்ட்ரான்கள், வரிமாலைகளை உண்டாக்குகின்றன. *K* கூடு, *L* கூடு ஆகியவற்றின் எலெக்ட்ரான்களைப் பொறுத்த வரிகள் தோன்றுகின்றன. அதிகப் பிரிதிறன் கொண்ட நிறமாலைமானிகளில் *M* கூடு எலெக்ட்ரான்களின் வரிகளும் காணப்படுகின்றன. ஒரு கொடுக்கப்பட்ட வரியிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல், அந்த வரியின் நிலையிலிருந்து (அதாவது, Hr-ன் மதிப்பைக்கொண்டு) கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது. γ கதிரின் ஆற்றல் அளவிடப்பட்ட எலெக்ட்ரான் ஆற்றலையும், எந்தக் கூட்டிலிருந்து எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுத்தப்பட்டதோ அந்தக் கூட்டில் எலெக்ட்ரான் பெற்றுள்ள பிணைப்பாற்றலின் மதிப்பையும் கூட்டுவதால் கிடைக்கிறது.

சில β துகள் மாலைமானிகளைக்கொண்டு காம்ப்டன் எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் ஆற்றல்கள் அளவிடப்பட்டு γ கதிரின் ஆற்றல் தீர்மானிக்கப் படுகிறது. படம் 9—4-ல், Mn^{52}-ன் γ கதிர்களால் ஈயக் கதிர் வீசுவானிலிருந்து வெளிப்படுத்தப்பட்ட ஒளி எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் காம்ப்டன் பின் உந்த எலெக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றைக் காட்டுகிறது. படத்தில் $0{\cdot}510 \pm 0{\cdot}01$ Mev, $0{\cdot}734 \pm 0{\cdot}015$ Mev, $0{\cdot}94 \pm 0{\cdot}02$ Mev, $1{\cdot}46 \pm 0{\cdot}03$ Mev ஆற்றல் கொண்ட γ கதிர்களால் உண்டாக்கப்பட்ட உறுதியான உச்சிகள் காணப்படுகின்றன. இதில் மிகக் குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட γ கதிர், பாசிட்ரான் அழிவுக் கதிர் வீச்சாகும்.

2 Mev அல்லது 3 Mev ஆற்றலுக்கும் அதிகமான ஆற்றல்கள் உள்ளபோது γ கதிர்கள் இரட்டை நிறமாலை மானியால் (pair spectrometer) ஆராயப்படுகிறது. ஏனெனில், ஃபோட்டானின் ஆற்றல் அதிகரிக்க அதிகரிக்க இரட்டைகள் உற்பத்தியாகும் வாய்ப்பும் அதிகரிக்கிறது. ஆனால், ஆற்றல் அதிகரிக்கும்போது காம்ப்டன், ஒளியின் விளைவுகளின் வாய்ப்பு

குறைகிறது. இணையாக்கப்பட்ட γ கதிர்களின் கற்றை ஒன்று ஒரு கதிர்வீசுவான்மேல் விழுகிறது. அப்போது கதிர்வீசுவானி லிருந்து எலெக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் இரட்டை வெளிப்படுத்தப் படுகிறது. இந்த எலெக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான்களும் ஒரு சீரான காந்தப்புலத்தினுல் தனித்தனியான பல வரிசையான எண்ணிகளுக்குள் குவிக்கப்படுகின்றன. அதே நேரத்தில், ஒரு γ கதிரால் உண்டாக்கப்படும் எலெக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான் களும் கண்டுணரப்படுகின்றன. இது ஒருங்கு நிகழ்வு உத்தி களால் (Coincidence technique) செய்யப்படுகிறது.

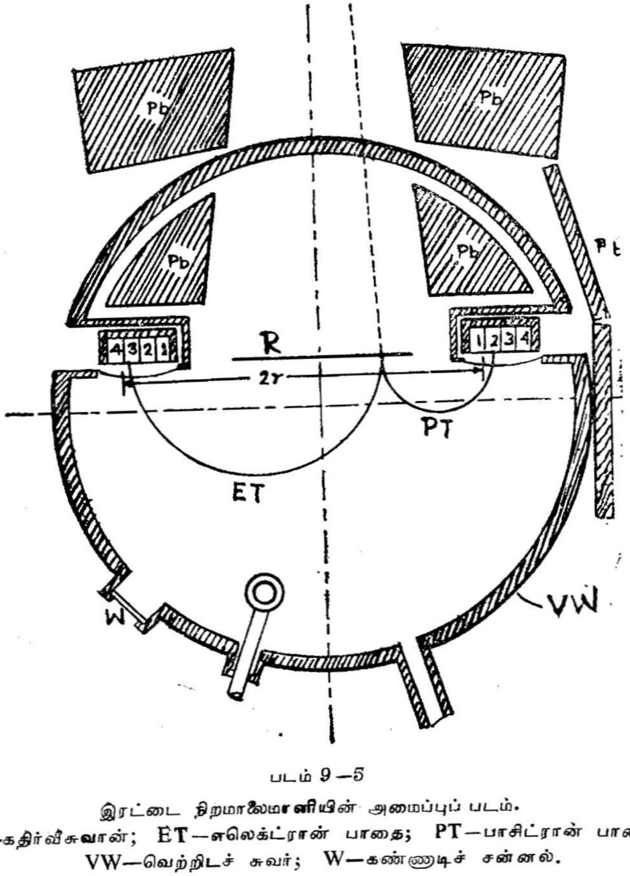


படம் 9—4

Mn^{52}-ன் γ கதிரால் ஈயத்திலிருந்து வெளியேற்றப்படும் ஒளி எலெக்ட்ரான்களும் காம்ப்டன் பின் உந்த எலெக்ட்ரான்களும்.

இந்த ஒருங்கு நிகழ்வு முறையில் இரண்டு நிகழ்ச்சிகள் வெவ்வேறு எண்ணிகளில் ஒரே சமயத்தில் பதிவு செய்யப்படு கின்றன. தகுந்த எலெக்ட்ரானிய இணைப்புகளைக்கொண்டு, 10^{-6} செகண்டுக்குக் குறைவான கால அளவை, கைகர் எண்ணி களின் பிரிதிறன் கால அளவாகச் செய்ய முடியும். அயனியாக்கக் கலங்கள், எலெக்ட்ரான் பெருக்கிகள் ஆகியவற்றைக்கொண்டு இதைவிடச் சிறிய பிரிதிறன் கால அளவுகளை (10^{-8} செகண் டிற்கும் குறைவாகப்) பெற முடியும். இரட்டையாக உள்ள எலெக்ட்ரான், பாசிட்ரான் ஆகியவற்றின் ஆற்றல்கள் அவற்றின் Hr மதிப்புகளைக்கொண்டு கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றன. இந்த ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகை, அவற்றின் அமைதிநிலை ஆற்றல்களுடன் (1·02 Mev) ஒன்றுசேர்ந்து γ கதிரின் ஆற்றலைக் கொடுக்கின்றன.

வாக்கர், மெக்டேனியல் (Walker and McDaniel) ஆகிய இருவரும் பயன்படுத்திய இரட்டை நிறமாலைமானியின் (Pair-Spectrometer) அமைப்பு படம் 9—5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு சீரான காந்தப்புலம் படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படும். γ கதிர்களின் ஓர் இணைக்கற்றை அதன்



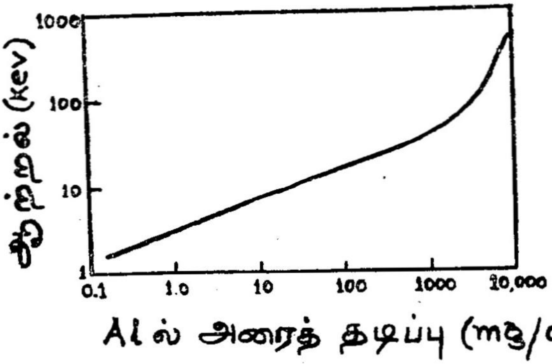
படம் 9—5

இரட்டை நிறமாலைமானியின் அமைப்புப் படம்.
R—கதிர்வீசுவான்; **ET**—எலெக்ட்ரான் பாதை; **PT**—பாசிட்ரான் பாதை;
VW—வெற்றிடச் சுவர்; **W**—கண்ணாடிச் சன்னல்.

திசைக்குச் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ள மெல்லிய கதிர் வீசுவான் தகட்டின்மேல் விழுகிறது. எலெக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் இரட்டைகள் உண்டாக்கப்பட்டு அவை முன்திசையிலேயே செல்கின்றன. எலெக்ட்ரான் பாசிட்ரான்

ஒவ்வொன்றும், கதிர்வீசுவான் தகட்டின் தளத்திலேயே வைக்கப்பட்டுள்ள நான்கு கணிப்பான்களில் ஏதாவது ஒன்றில் விழலாம். கணிப்பான்கள் இரட்டை இரட்டையாக, ஒருங்கு நிகழ்வு சுற்றுகளுடன் (coincidence circuits), ஒரே ஆற்ற லுடைய γ கதிர்களால் உண்டாக்கப்படும் இரட்டைகள் மட்டும் எண்ணப்பட்டுப் பதிவுபெறும்படி இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

γ கதிர்களின் ஆற்றல்களை, உள்நிலை மாற்றம் எலெக்ட் ரான்களின் (internal conversion electrons) ஆற்றல்களை அளவிட்டும் கண்டுபிடிக்கலாம். இந்த நிகழ்ச்சியில் இரண்டாம் நிலை எலெக்ட்ரான்கள் கதிர் வீசுவானிலிருந்து வெளிப்படாமல் கதிரியக்க அணுவிலிருந்தே வெளிப்படுகின்றன. எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல்கள் காந்தப் பகுப்பாய்வு (Magnetic analysis) முறையில் கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றன. இந்த ஆற்றல்கள் β வெளிவிடு பொருள்களின் வரிமாலைகளாகத் தோன்றுகின்றன.



படம் 9—6
அலுமினியத்தில் அரைத்தடிப்பு வளைகோடு

γ கதிர்களின் ஆற்றலைக் கண்டுபிடிக்க உட்கவர்தல் முறைகளையும் பயன்படுத்தலாம். ஓர் உட்கவரும் பொருளில் γ கதிர்கள் செல்லும்போது அக் கற்றையின் செறிவுக் குறைவை அளந்து உட்கவர் எண்ணைக் கண்டுபிடிக்க முடியும். ஒரு பொருளின் உட்கவர் எண், γ கதிர்களின் ஆற்றலின் ஒரு சார்பாக உள்ளது. ஆகவே, அளவிடப்படும் உட்கவர் எண்ணிலிருந்து γ கதிரின் ஆற்றலைக் கணக்கிட முடிகிறது. உட்கவர் எண்ணின் ஒரு மதிப்பு, இரண்டு வெவ்வேறான ஃபோட்டான் ஆற்றல்களை

ஒத்திருக்குமாதலால், இரண்டு வெவ்வேறு பொருள்களின் உட்கவர்தல் வளைகோடுகளை வரைந்து ஆற்றலின் சரியான மதிப்பு கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. மேலும் இம் முறைகளில் மிக அதிகமான சிதைவு வலிமை கொண்ட தோற்றுவாய்கள் தேவை. ஏனெனில், வெளிப்படும் γ கதிர்களின் ஒரு சிறு பகுதியையே பரிசோதனைக்குப் பயன்படுத்த முடிகிறது. ஆகவே, சிதைவு வலிமை குறைவாகக்கொண்ட தோற்றுவாய்களுக்குப் படம் 8–4-ல் காட்டப்பட்டுள்ள பரிசோதனை அமைப்பையே சிறு மாற்றங்களுடன் பயன்படுத்த வேண்டும். இங்கு γ கதிர்த் தோற்றுவாயை எவ்வளவு தொலைவில் வைக்கமுடியுமோ அவ்வளவு தொலைவில் வைக்கவேண்டும்; உட்கவரும் பொருளை எண்ணிக்கு எதிரே வைக்கவேண்டும். β துகள் எண்ணிக்குப் பதிலாக γ கதிர் எண்ணியை வைக்கவேண்டும். இந்த நிபந்தனைகளோடு, γ கதிர்வீச்சு ஒருபடித்தானதாயிருந்தால், குறைந்தது 3 அல்லது 4 அரைத் தடிப்புகளுக்கு ஒரு e-ன் மடி வளைகோடு கிடைக்கிறது. ஓர் அரைமடக்கை வரைதாளில் வரையப்பட்டால் ஒரு நேர்கோடு கிடைக்கிறது. அலுமினியத்திற்கான அரைத்தடிப்பு வளைகோடு படம் 9-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இப்படிப்பட்ட தெரிந்த ஆற்றலின் அரைத்தடிப்பு வளைகோடுகளிலிருந்து, γ கதிரின் ஆற்றலைக் கண்டுபிடிக்க முடியும். இம் முறையில், 1 Mev ஆற்றலுக்கும் குறைவான ஆற்றலுள்ள கதிர்களின் ஆற்றல்கள் துல்லியமாகவே கிடைக்கின்றன.

γ கதிர்களின் ஆற்றலை, அவற்றால் ஒரு கதிர் வீசுவானிலிருந்து வெளிப்படுத்தப்படும் காம்ப்டன் எலெக்ட்ரான்களின் பெரும அளவு நெடுக்கத்தை அளவிட்டும் கண்டுபிடிக்கலாம் காம்ப்டன் எலெக்ட்ரான்களின் நெடுக்கம் அளவீடுகளை முகிற் கலங்களைக்கொண்டோ அல்லது ஒருங்குநிகழ்வு முறைகளைக் கொண்டோ காணலாம். ஒருங்கு நிகழ்வு முறையில், மெல்லிய சுவர்களைக்கொண்ட இரண்டு கைகர் எண்ணிகளுக்கிடையே காம்ப்டன் எலெக்ட்ரான்கள் செல்கின்றன. உட்கவரும் பொருள்களும் இந்த இரண்டு எண்ணிகளுக்கிடையிலேயே வைக்கப்படுகின்றன. உட்கவர்தல் தடிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க, ஒருங்குநிகழ்வு எண்ணிக்கை குறைகிறது. காம்ப்டன் எலெக்ட்ரான்கள் முனைப்புள்ளியை நெருங்கும்போது ஒருங்குநிகழ்தல் வீதம் சுழியாகிறது. இம் முறை 5 Mev வரை ஆற்றல் உள்ள γ கதிர்களுக்குப் பயன்படுகிறது. ஃபௌலர், லாரிட்சன் ஆகியோர் இம் முறையை மேம்படுத்தி அதிக ஆற்றலுள்ள γ கதிர்களுக்கும் பயன்படுத்தினர்.

γ கதிர்களின் ஆற்றலைச் சுடர் நிறமாலைமானிகளைக் (Scintillation Spectrometer) கொண்டும் கண்டுபிடிக்கலாம். இம் முறையில் γ கதிர்வீச்சால் உண்டாக்கப்படும் எலெக்ட்ரான் களின் ஆற்றல்களை அளவிடும் விகித எண்ணியாகச் சுடர் கணிப்பான் செயற்படுகிறது. எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்ற லிலிருந்து γ கதிர்களின் ஆற்றல் கணிக்கப்படுகிறது.

10. காமாச் சிதைவு

உள்நிலை மாற்றம்

α சிதைவு அல்லது β சிதைவைத் தொடர்ந்து கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் விடப்பட்ட ஓர் அணுக்கரு ஒரு காமாக் கதிரை வெளிப்படுத்தியோ அல்லது உள்நிலை மாற்ற (internal conversion) நிகழ்ச்சியினுலேயோ குறைவான கிளர்ச்சியுற்ற நிலைக்கோ அல்லது அடிநிலைக்கோ செல்கிறது என்று முன்பே கூறப்பட்டது. இந்தக் கருத்தின் அடிப்படையில் α சிதைவு மற்றும் β சிதைவுகளுடன் தொடர்பு கொண்ட γ கதிர்களின் ஆற்றல்களையும் சிதைவு இடநிலைகளையும் விளக்க முடிகிறது.

α அல்லது β துகள்கள் வெளிப்படுவதைத் தொடர்ந்து எப்போதுமே γ கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன என்ற கருத்து நிச்சயமாகத் தெரியவில்லை. இதை நிரூபிப்பதற்காக 1920-ம் ஆண்டிற்குப் பிறகு பல பரிசோதனைகள் செய்யப்பட்டன. வெவ்வேறுன பல தனித்த பரிசோதனைகள் இதை நிரூபித்தன.

ரூதர்ஃபோர்டு, வூஸ்டர் (Wooster) ஆகிய இருவரும் பயன்படுத்திய முறை, RaB சிதைவைத் தொடர்ந்து வெளிப்படும் இரண்டாம் நிலை எக்ஸ் கதிர் வரிகளின் அளவீடுகளைப் பொறுத்து அமைந்தது. அரைவாழ்வுக் காலம் 26·8 நிமிடங்கள் கொண்ட ரேடியம் B, β துகள்களையும் γ கதிர்களையும் வெளிவிடுகிறது. β துகள் மாலையில், பல எலெக்ட்ரான் கூடுகளில் நடைபெறும் உள்நிலை மாற்றத்திற்கு ஒத்த வரிகள் காணப்படுகின்றன. உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்பட்ட பிறகு, எலெக்ட்ரான் கூடுகளில் ஏற்பட்ட காலியிடங்கள் சிறப்பு X கதிர்கள் (characteristic X rays) வெளிப்படுவதால் நிரப்பப்படுகின்றன. ரூதர்ஃபோர்டும் வூஸ்டரும் RaB-யின் β சிதைவைத் தொடர்ந்து உண்டாகும் *L* எக்ஸ் கதிர் வரிகள் சிலவற்றின் அலைநீளங்களைக் கண்டுபிடித்தனர். இந்த அலைநீளங்களின் மதிப்புகள் அணுஎண் 83-க்கான ஒத்துக்கொள்ளப்பட்ட மதிப்புகளுடன் மிக நெருக்கமாக ஒத்திருந்தன. RaB-யின் சிதைவு, அணு எண்ணை 82-லிருந்து 83-க்கு மாற்றுவதால், அணு எண்ணில் மாறுதல் ஏற்பட்ட பிறகே உள்நிலை மாற்றம் நடைபெறுகிறது என்பதை இந்த முடிவு காட்டுகிறது.

ஒரு கதிரியக்கச் சிதைவிற்குப் பிறகு ஓர் உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுவது, சிதைவு நிகழ்ச்சிக்குப் பிறகு விளைபொருள் அணுக்கருவில் ஒரு மறுசீரமைப்பு(reorganisation) நடைபெறுவதைக் குறிக்கிறது. உள்நிலை மாற்றத்தில் உண்டாகும் ஆற்றலின் அளவு, γ கதிர் வெளிப்படுவதில் உண்டாகும் ஆற்றலில் அளவுக்குச் சமமானது என்று ஐயமில்லாமல் நிரூபிக்கப்பட்டது. ஆகவே, இந்த இரு நிகழ்ச்சிகளும் விளைபொருள் அணுக்கருவில் நடைபெறும் அதே மறுசீரமைப்பையே குறிக்கின்றன. அதனால் α அல்லது β துகள் வெளிப்படுவதைத் தொடர்ந்து γ கதிர் வெளிப்படுகிறது. அட்டவணை 10—I-ல் RaB-யின் β கதிர்வரிகளின் ஒரு தொகுப்பின் ஆற்றல்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 10-I

வெவ்வேறு எலெக்ட்ரான் கூடுகளில் ஏற்படும் γ கதிரின் மாற்றம்

β கதிர் ஆற்றல் kev.	பிணைப்பு ஆற்றல் (z=83-க்கு)	நிலைமாற்ற மட்டம் (Conversion level)	γ கதிர் ஆற்றல் kev
36·74	16·34	L_I	53·08
37·37	15·67	L_{II}	53·04
39·63	13·38	L_{III}	53·01
48·85	3·99	M_I	52·84
49·10	3·68	M_{II}	52·78
49·66	3·17	M_{III}	52·83
51·90	0·93	N_I	52·83
52·64	0·23	O	52·84
		சராசரி	52·91

வெளிப்படும் சிறப்பு எக்ஸ் கதிர் வீச்சிலிருந்து எந்த எலெக்ட்ரான் கூட்டில் உள்நிலை மாற்றம் நிகழ்ந்தது என்று தெரிகிறது. வெவ்வேறு கூடுகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின்

பிணைப்பு ஆற்றல்களும் தெரிகின்றன. எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல், அதன் பிணைப்பு ஆற்றல் ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத் தொகையே நிலைமாற்றமுற்ற γ கதிரின் ஆற்றலாகக் கொள்ளப் படுகிறது. அட்டவணையில் ஒரே அளவான 52·91 Kev ஆற்றலே எல்லா γ கதிர் வரிகளுக்கும் பரிசோதனைப் பிழைகளுடன் கிடைக்கிறது.

ஒரு நியூக்ளீடு வெளிப்படுத்தும் γ கதிரின் ஆற்றலை ஒரு படிக நிறமாலைமானியைக்கொண்டு நேரடியாக அளவிடலாம். இம் முறையில் RaB-யின் சிதைவைச் சார்ந்த γ கதிரின் ஆற்றல் 53·3 Kev என்று அளவிடப்பட்ட β கதிர் வரியிலிருந்து கிடைத்த ஆற்றல் 52·9 Kev ஆகும். இந்த இரண்டு அளவுகளும் ஒத்துள்ளன. இதே மாதிரி, நேரடியாக அளக்கப்பட்ட γ கதிரின் ஆற்றல்களும், β வரியிலிருந்து கிடைக்கும் ஆற்றல் களும் ஒத்துள்ளன.

ஒரு γ கதிர் வெளிப்படுதலும், ஓர் உள்நிலைமாற்ற எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுதலும், ஒரே அணுக்கரு—மறுசீரமைப்பையே குறிக்கின்றன. கதிரியக்கச் சிதைவைத் தொடர்ந்து உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுவதால், துகள் சிதைவு நிகழ்ச்சியைத் தொடர்ந்து γ கதிர் வெளிப்படவேண்டும்.

உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படும் காலத்தை அளவிடும் மிக யூகமான பரிசோதனையை எல்லிஸ், வூஸ்டர் ஆகிய இருவரும் செய்தனர். இம் முறையில் ஒரு தடிப்பான பிளாட்டினக் குழாயினுள் தோற்றுவாய் RaB வைக்கப்பட்டு, குழாயின் வெளிப்புறத்தில் ஒரு மெல்லிய RaB பூச்சு வைக்கப் பட்டது. குழாயின் உட்புறமுள்ள தோற்றுவாயிலிருந்து வெளிப் படும் γ கதிர்கள் பிளாட்டினத்திலிருந்து $h\nu - K_{Pt}$, $h\nu - L_{Pt}$ .... போன்ற ஆற்றல் கொண்ட ஒளி எலெக்ட்ரான்களை வெளிப் படுத்துகின்றன. இங்கு K_{Pt} போன்றவை பிளாட்டினத்தின் K கூடு போன்றவற்றில் ஓர் எலெக்ட்ரானுக்குள்ள பிணைப்பு ஆற்றலாகும். அதே நேரத்தில் குழாயின் வெளிப்புறத்திலுள்ள தோற்றுவாயிலிருந்து வரும் γ கதிர்கள் உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட் ரான்களால் தொடரப்படுகின்றன. இந்த உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல்கள் முறையே $h\nu - K_{RaB}$, $h\nu - L_{RaB}$ என்ற அளவுகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. எலெக்ட்ரான்கள் காந்தப்புல விலகல் முறைகளில் ஆராயப்பட்டன. ஒளிமின் நிறமாலை, உள்நிலை மாற்ற நிறமாலை ஆகிய இரண்டும் ஒரே புகைப்படத் தட்டில் ஒரே சமயத்தில் பதிவு செய்யப்பட்டன.

ஒவ்வொரு தொகுப்பிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றலில் உள்ள வேறுபாடுகள் முறையே K_{RaB} - K_{Pt}, L_{RaB} – L_{Pt}...ஆகும். கொள்கையின் அடிப்படையில் K வரிகளின் ஆற்றல் வேறு பாடுகள் K_{82}—K_{78} அல்லது K_{83}—K_{78} என்று கணக்கிடப்பட்டது. இந்த அளவுகள் முறையே உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்களும் γ கதிர்களும் தாய் அணுக்கருவான RaB ($_{82}Pb^{214}$) லிருந்தோ அல்லது விளைபொருள் அணுக்கருவான RaC ($_{83}Bi^{214}$) லிருந்தோ வருவதாகக் கருதுவதைப் பொறுத்து அமையும். இந்த ஆற்றல் வேறுபாட்டு அளவுகள் பரிசோதனை முடிவுகளுடன் ஒத்துள்ளன. பிளாட்டினம் (Z=78) மற்றும் Z=82, Z=83 என்று கொண்ட தனிமங்களின் *K, L* கூடுகளில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் பிணைப்பு ஆற்றல்கள் தெரிந்த அளவுகளாகும். புகைப்படத் தட்டில் காணப்படும் வரிகளுக்கிடையே உள்ள இடைவெளி (*Hr* மதிப்புகள்) களிலிருந்து ஆற்றல் வேறுபாடுகளின் மதிப்புகள் கணக்கிடப்படுகின்றன. இந்தச் செய்முறை பல வெவ்வேறு வரிகளுக்குப் பயன்படுத்தப்பட்டு, ஒவ்வோர் அளவீட்டிலும் பரிசோதனை முடிவு Z=83 என்ற மதிப்பிற்குக் கணக்கிடப்பட்ட அளவுடன் ஒத்திருந்தது. இந்த முடிவுகளிலிருந்து β துகளுக்குப் பிறகு γ கதிர் வெளிப்படுகிறது என்பது நிரூபிக்கப்பட்டது. α வெளிவிடு பொருள்களையும், β வெளிவிடு பொருள்களையும் கொண்டு இதே மாதிரி செய்யப்பட்ட பல பரிசோதனைகளிலிருந்தும் துகள் சிதைவிற்குப் பிறகே γ கதிர் வெளிப்படுவதாகக் காட்டப்பட்டது.

γ கதிர்கள் விளைபொருள் அணுக்கருவிலிருந்துதான் வெளிப்படுகின்றன, தாய் அணுக்கருவிலிருந்து அல்ல என்பது நிரூபிக்கப்பட்டது. இதுதரையில் α அல்லது β துகள் வெளிப்பட்ட உடனேயே γ கதிர்கள் வெளிப்படுவதாகக் கருதப்பட்டது. ஏனெனில், இந்த இரண்டு சிதைவுகளுக்கும் இடையேயுள்ள மிக மிகச்சிறிய கால அளவை அளவிட முடிய வில்லை. கொள்கைப்படி இந்த அணுக்கருக்களின் γ கதிர் வாழ்வுக்காலம் 10^{-13} செகண்டிலிருந்து 10^{-11} செகண்டுவரை உள்ளது. இதன் விளைவாக, γ கதிரின் செறிவும் தாய் அணுக்கருவின் அரைவாழ்வுக் காலத்தையே பெற்றுச் சிதைவுறு கிறது 26·8 நிமிட அரைவாழ்வுக் காலம் பெற்ற RaB ல், γ கதிர்ச் செறிவும் 26·8 நிமிட அரைவாழ்வுக்காலம் கொண்டே சிதைவுறுகிறது. ThC ஆறு தொகுப்புகளாக α துகள்களை வெளிவிட்டு α சிதைவு பெற்று ThC″ ஆக மாறுகிறது. விளை பொருள் அணுக்கரு ThC″ குறைந்தது எட்டு வெவ்வேறான γ கதிர்களை வெளிவிடுகிறது. இருப்பினும் இந்த γ கதிர்கள்,

ThC-யின் γ கதிர்கள் என்றே அழைக்கப்படுகின்றன; நியூக்ளைடு அட்டவணைகளிலும் அம்மாதிரியே காட்டப்பட்டுள்ளன.

ஒரு கொடுக்கப்பட்ட நியூக்ளைடில் γ கதிர் வெளிப்படுவது, உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான் வெளிப்படுவது ஆகிய இரண்டு நிகழ்ச்சிகளின் சார்பு எண்ணிக்கை கொள்கைப்படி மிக முக்கியமானது. இது உள்நிலை மாற்ற எண் (internal conversion coefficient) என்ற அளவால் குறிப்பிடப்படுகிறது. **வெளிப்படும் உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கும் γ கதிர் ஃபோட்டான்களின் எண்ணிக்கைக்கும் உள்ள விகிதமே உள்நிலை மாற்ற எண்.** வெவ்வேறு எலெக்ட்ரான் கூடுகளுக்கு இந்த எண் வெவ்வேறு மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கிறது. உள்நிலை மாற்ற எண் மதிப்பை குவாண்டம் இயக்க வியலிலிருந்து கணக்கிடலாம். இதைக் கணக்கிடப் பெரிய எலெக்ட்ரானிய கணக்கிடும் இயந்திரங்களைப் பயன்படுத்த வேண்டும் இந்த எண், அணு எண்ணுடன் Z^3-ன் விகிதத்தில் ஓர் எல்லைவரை அதிகரிக்க வேண்டும்; γ கதிர் ஆற்றல் அதிகரிக்கும் போது இதன் மதிப்பு குறைகிறது.

அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள்

அணுக்கருக்களின் கிளர்ச்சியுற்ற ஆற்றல் மட்டங்களிலிருந்து குறைவாகக் கிளர்ச்சியுற்ற ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு ஆற்றல்மட்ட மாற்றம் நடைபெறும்போது வெளிப்படும் γ கதிர்களையும் உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்களையும் பற்றிய ஆராய்ச்சியே குறைந்த ஆற்றல் அணுக்கரு மட்டங்களைப் பற்றிய உண்மைகளைக் காணும் வழியாகும். இந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் தங்களுக்கென ஆற்றல், கோண உந்தம் (சுழற்சி), சரி சமநிலை (parity) போன்ற சில நிலையான பண்புகளால் தனிச் சிறப்புப் பெற்றுள்ளன. γ கதிர்கள் அல்லது உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் ஆற்றல்கள் ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களின் ஆற்றல்களை நிர்ணயிக்கின்றன. இந்த ஆற்றல் மட்ட மாற்றங்கள், ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு இடையே உள்ள ஆற்றல் வேறுபாடுகளைக் கொடுக்கின்றன. சிதைவு வாய்ப்பு, γ கதிர்களின் ஆற்றல் ஆகியவற்றிற்கிடையே உள்ள கொள்கைப் படியான தொடர்புகளையும் பரிசோதனை முடிவுகளையும் ஒன்று சேர்த்து அணுக்கரு ஆற்றல்மட்டங்களின் கோண உந்தங்கள், சரிசம நிலை ஆகியவற்றைப் பற்றிய சில உண்மைகளைப் பெறமுடியும். இன்னும் நுணுக்கமான உண்மைகளைப் பெற சில சிறப்பான முறைகளைக் கையாள வேண்டும். அவற்றில்

ஒரு முறை, உள்நிலை மாற்ற எண்களைப் பற்றிய அளவியலான ஆராய்ச்சி. இன்னொரு முறை, கிளர்ச்சியுற்ற ஓர் அணுக்கரு அடுத்தடுத்து வெளிப்படுத்தும் γ கதிர்களுக்கு இடையேயுள்ள கோணத் தொடர்பைச் சார்ந்தது. மூன்றாவது முறை, ஒரு காந்தப்புலத்தில் நிலைநிறுத்தப்பட்ட அணுக்கருக்களால் வெளிவிடப்படும் γ கதிர்களின் கோணப் பகிர்வைச் சார்ந்தது.

காமாச் சிதைவின் கொள்கை தற்போதைக்கு அணுக் கருவின் தோராயமான அமைப்பின் அடிப்படையிலும் அணுக் கருவிற்கும் கதிர்வீச்சுக்கும் இடையே ஏற்படும் இடையீட்டுச் செயலை ஆராயும் முறையின் அடிப்படையிலும் அமைந்துள்ளது. தற்போது உள்ள பரிசோதனை முடிவுகளையும் கொள்கைகளையும் ஒன்றுசேர்த்து அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டத்தின் கோண உந்தம், சரிசம நிலை (parity) ஆற்றல்மட்டத்தின் அமைப்பு, சிதைவு இட நிலை ஆகியவற்றை விளக்க முடிகிறது.

அணுக்கருவிற்கும் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுக்கும் இடையே உள்ள இடையீட்டுச் செயலை R/λ' என்ற விகிதத்தின் அடுக்குகளின் முடிவிலா உருக்கோவையாகக் (infinite series) குறிப்பிடுவது மிகப்பயனுள்ளது. இங்கு R என்பது, அணுக்கருவின் ஆரம்; λ' என்பது, கதிர்வீச்சின் அலைநீளத்தை 2π யால் வகுக்கும்போது கிடைக்கும் மதிப்பு. அணுக்கருவின் ஆரம்

$$R \simeq R_0 A^{\frac{1}{3}} \times 10^{-13} \text{ செ. மீ.}$$

இதில் R_0 என்பது, சுமார் 1·5 மதிப்புகொண்ட ஒரு மாறிலி. A என்பது, அணுக்கருவின் நிறை எண். γ கதிர்வீச்சின் அலைநீளம்

$$\lambda' = \frac{h'}{p} = \frac{h'}{h\nu/c} = \frac{h'c}{E}$$

$$= \frac{197}{E(\text{Mev})} \times 10^{-13} \text{ செ. மீ.}$$

$$\therefore \frac{R}{\lambda'} = \frac{R_0 A^{\frac{1}{3}} E(\text{Mev})}{197}$$

$A^{\frac{1}{3}}$-க்கு 6 வரை மதிப்புள்ளது. E-யின் மதிப்பு 1 அல்லது 2 Mev. அதனால் விகிதம் R/λ^1 எப்போதும் 0·1-ஐவிடக் குறைவாக இருக்கும். கொள்கைப்படி சிதைவு வாய்ப்பு அல்லது சிதைவு

மாறிலிக்கான கோவைப் $(R/\lambda')^2$-ன் அடுக்கில் ஒரு முடிவிலாக உருக்கோவையாகத் தரப்படுகிறது. உருக்கோவையின் அடுத்தடுத்த உறுப்புகள் விரைவாகக் குறைகின்றன. ஆகவே, சிதைவு வாய்ப்பு பொதுவாக உருக்கோவையில் மறையாத முதல் உறுப்பாகவே கொடுக்கப்படுகிறது. இதேபோல β சிதைவிலும் கொடுக்கப்பட்டது. இந்த மறையாத முதல் உறுப்பு ஓர் அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றத்தை உண்டாக்குகிறது. வெகுவாகக் குறைந்து செல்லும் அடுத்த உறுப்புகள் தடைசெய்யப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களை உண்டாக்குகின்றன. பெரும்பாலான அணுக்கரு ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களுக்கு $(R/\lambda')^2$ என்ற விகிதம் மிகச்சிறியதாக இருந்தாலும் γ சிதைவில் தடைசெய்யப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள் இன்னும் முக்கியமானவையாக உள்ளன. பரிசோதனைகளில் ஆற்றல்மட்ட மாற்ற வீதமே காணப்படுகிறது. அணுக்கரு ஆற்றல்களில் மிகக்குறைவான ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள்கூட அளக்கக்கூடியனவாக உள்ளன. ஆகவே, இது ஒரு காரணமாகும்.

இந்த நிலை, ஒளி வெளிப்படும் அல்லது உட்கவரப்படும் அணுவின் ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களிலிருந்து வேறுபட்டுள்ளது. அணுக்களுக்கு (R/λ)-வின் மதிப்பு $10^{-8}/10^{-5}=10^{-3}$ அளவாக உள்ளது. இது அணுக்கருக்களுக்கான மதிப்பைவிட மிகச் சிறியது. ஆகவே, அணுவின் தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள், அணுக்கருவின் தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களைவிட, அதிகமாகத் தவிர்க்கப்பட்டவையாக உள்ளன. தவிர, அணுவின் ஆற்றல்மட்ட மாற்ற பரிசோதனையில் தவிர்க்கப்பட்ட வரிகளின் வலிமை மிகக்குறைவானதாய் இருப்பதால் இந்த வரிகளைக் காண்பதே மிகவும் கடினமாக உள்ளது. γ சிதைவில் தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள் மிக முக்கியமானவையாதலால், சிதைவு வாய்ப்பு உருக்கோவையின் ஒவ்வோர் உறுப்பும் எதைக் குறிக்கிறது, ஏன் அது முக்கியமாகிறது என்பதை ஆராய வேண்டியுள்ளது.

அணுவின் ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களில் உள்ளது போன்றே அணுக்கரு ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களுக்கும் தேர்வு விதிகள் உள்ளன. இவை கட்டாயம் அனுசரிக்கப்பட வேண்டும். இந்த விதிகள் அட்டவணை 10—II-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

γ கதிர் வெளிப்படுவதற்கோ அல்லது உட்கவரப் படுவதற்கோ ஆன தேர்வு விதிகள் L மற்றும் சமநிலை இரண்டும்

சேரும் வகைகளை விளக்குகின்றன. இதனால் ஆற்றல்மட்ட மாற்ற வாய்ப்பின் மறையாத மதிப்புகள் கிடைக்கின்றன. அணுக்கருவின் கோண உந்த மாறுபாடு சிறியதாக இருக்கும்

காமாக் கதிர்களின் தேர்வு விதிகளும் குறியீடுகளும்

வகை	அணுக்கருவின் கோண உந்த மாற்றம் (h அலகுகளில்)	குறியீடு	அணுக்கரு அலை சார்பின் சமநிலை மாற்றம்
மின் 2^L முனை	*L*	*EL*	*L* இரட்டை : இல்லை *L* ஒற்றை : உண்டு
காந்த 2^L முனை	*L*	*ML*	*L* இரட்டை : உண்டு *L* ஒற்றை : இல்லை
மின் இரு முனை	1	*E* 1	உண்டு
காந்த இரு முனை	1	*M* 1	இல்லை
மின் நான்கு முனை	2	*B* 2	இல்லை
காந்த நான்கு முனை	2	*M* 2	உண்டு
மின் எட்டு முனை	3	*E* 3	உண்டு
காந்த எட்டு முனை	3	*M* 3	இல்லை
மின் பதினாறு முனை	4	*E* 4	இல்லை
காந்த பதினாறு முனை	4	*M* 4	உண்டு

போது சிதைவு வாய்ப்பு அதிகமாக இருக்கும்; சராசரி வாழ்வுக் காலம் குறைவாக இருக்கும். ஆனால், அணுக்கருவின் கோண உந்த மாறுபாடு அதிகமாயிருந்தால் சிதைவு வாய்ப்பு மிகச் சிறியதாகவும் சராசரி வாழ்வுக் காலம் அதிகமாகவும் இருக்கும்.

அளவிடப்பட்ட வாழ்வுக் காலமும்
அணுக்கரு ஐசோமரும்.

பெரும்பாலான தெரிந்த γ சிதைவு வீதங்கள் கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகளின் வாழ்வுக்காலமான λ-ஐ நேரடியாக அளவிட்டுக் கணக்கிடப்பட்டவை. ஒரு கிளர்ச்சியுற்ற நிலையின் மொத்தச் சிதைவு வீதம் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது.

$$\frac{1}{\tau} = \lambda = \lambda_\gamma + \lambda_e$$

இங்கு λ_γ என்பது, ஃபோட்டான்களின் வெளிப்படு வீதம். λ_e என்பது, உள்நிலை மாற்ற எலெக்ட்ரான்களின் வெளிப்படு வீதம். உள்நிலை மாற்ற எண் $\alpha = \frac{\lambda_e}{\lambda_\gamma}$

உள்நிலை மாற்ற எண்ணை λ_γ கணக்கிடும் முறைகளைப் பொறுத்து அமையாத வழிகளில், தனியாகக் கணக்கிடமுடியும். γ சிதைவினுல் மட்டும் ஏற்படும் ஆற்றல்மட்ட மாற்ற வீதம்,

$$\lambda_\gamma = \frac{1}{\tau(1+\alpha)} = \frac{1}{\tau_\gamma}$$

என்பதால் கிடைக்கிறது. இந்தப் பரிசோதனை மதிப்பைத்தான் கொள்கையுடன் ஒப்பிட வேண்டும்.

காமாச் சிதைவின் கொள்கைப்படி அமைந்த சராசரி வாழ்வுக்கால மதிப்புகள் அட்டவணை 10-III-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அந்த அட்டவணையிலிருந்து γ சிதைவின் சில சராசரி வாழ்வுக் காலங்கள் அளக்கக்கூடிய அளவுக்கு நீண்டவையாக உள்ளன. பெரும்பாலான γ கதிர் வாழ்வுக் காலங்கள் மிகக் குறுகியனவாக இருந்தாலுங்கூட, 250-க்கும் அதிகமானவற்றில் γ சிதைவின் வாழ்வுக் காலங்களை அளவிட முடிகிறது. அவற்றின் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அரை வாழ்வுக்காலங்கள் 10^{-10} செகண்டிலிருந்து பல ஆண்டுகள் வரை உள்ளன. இந்தத் தாமதமான ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள் (delayed transition) ஐசோமெரிக் ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள் (isomeric transition) எனப்படுகின்றன. இந்த ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்கள் எந்த ஆற்றல் நிலைகளிலிருந்து தொடங்குகின்றனவோ அந்த நிலைகளுக்கு ஐசோமெரிக் நிலைகள் (Isomeric states) அல்லது

ஐசோமெரிக் மட்டங்கள் (levels) என்று பெயர். இந்தத் தாமத ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களால் ஒரே எண்ணும் நிறை எண்ணும் கொண்ட அணுக்கரு இரட்டைகள் உள்ளன. இவை ஐசோப்புகளாகவும் ஐசோபார்களாகவும் உள்ளன; ஆனால், இவைகளின் கதிரியக்கப் பண்புகள் மட்டும் வேறுபட்டவை. இந்த நியூக்ளீடுகளுக்கு 'அணுக்கரு ஐசோமெர்'

காமாச் சிதைவின் கொள்கைப்படி சராசரி வாழ்வுக் கால மதிப்புக்ள்

கதிரியக்க வகை	அணுக்கருவின் கோண உந்த மாற்றம் L : h அலகுகளில்	சராசரி வாழ்வுக் காலம் (செகண்டு)		
		காமாக் கதிர் ஆற்றல்		
		1·00 Mev	0·20 Mev	0·05 Mev
E 1	1	3×10^{-16}	3×10^{-14}	2×10^{-12}
M 1	1	3×10^{-14}	3×10^{-12}	2×10^{-10}
E 2	2	7×10^{-12}	3×10^{-8}	3×10^{-5}
M 2	2	8×10^{-10}	3×10^{-6}	4×10^{-3}
E 3	3	6×10^{-7}	5×10^{-2}	8×10^{2}
M 3	3	7×10^{-5}	6	9×10^{4}
E 4	4	6×10^{-12}	1×10^{5}	3×10^{10}
M 4	4	7	1×10^{7}	3×10^{12}
E 5	5	8×10^{4}	4×10^{12}	2×10^{19}
M 5	5	9×10^{6}	4×10^{14}	2×10^{21}

(nuclear isomer) என்று பெயர். அதிகமான வாழ்வுக்காலம் கொண்ட கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகள் இருப்பதால் நிலையான பண்புகளான கோண உந்தம், காந்தத் திருப்புத் திறன் ஆகியவற்றை நேரடியாக ஆராய முடிகிறது. இருப்பினும் ஓர் ஆற்றல் நிலையின் ஐசோமெரிக் பண்பு சார்பிலாதது அல்ல; குறைந்த ஆற்றல் நிலைகளின் பண்புகளுடன் சார்ந்ததேயாகும்.

ஐசோமெரிக் நிலையை, நியூக்ளியடின் நிறை எண்ணுடன் சேர்ந்த m என்ற எழுத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். இம் முறையில் In^{113m} என்பது In^{113}-யின் ஐசோமெரிக் மட்டத்தைக் குறிக்கின்றது.

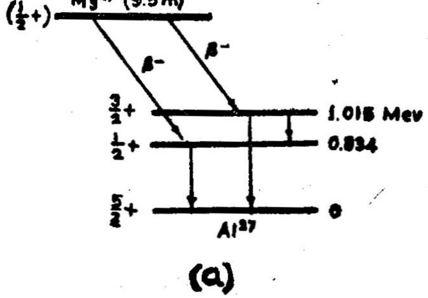
முதன் முதலில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அணுக்கரு ஐசோமெர் UX_2-வும் UZ-ம் ஆகும். இவை இரண்டும் ஒரே அணு எண்ணையும், ஒரே நிறை எண்ணையும் கொண்டு வெவ்வேறு அரைவாழ்வுக் காலங்களைக் கொண்டிருக்கின்றன. அவை வெவ்வேறு கதிர்வீச்சுகளை வெளிப்படுத்துகின்றன. செயற்கைக் கதிரியக்கம் கண்டு பிடிக்கப்படும் வரையிலும் ஐசோமெர்கள் தனித்தன்மை வாய்ந்தவையாக இருந்தன. நியூட்ரான் தாக்குதலினால் பல புதிய நியூக்ளியடுகள் உண்டாக்கப்பட்டபோது, பல ஐசோமெர் இரட்டைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. புரோமினில் (Bromine) முதன் முதலாகச் செயற்கை முறையில் உண்டாக்கப்பட்ட ஐசோமெர் காணப்பட்டது.

ஐசோமெரிசத்திற்கான ஒரு விளக்கம் 1936-ம் ஆண்டு, வான் வெய்சாக்கர் (Von Weizsacker) என்பவரால் கொடுக்கப்பட்டது. அவருடைய விளக்கத்தின்படி ஓர் ஐசோமெர் என்பது தன் அணுக்கருவைக் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் பெற்றுள்ள ஓர் அணு. அந்த அணுக்கரு நிலையின் கோண உந்தம் அதைவிடக் கீழே உள்ள மற்ற ஆற்றல் நிலைகளின் (அடிநிலை உட்பட) கோண உந்தங்களிலிருந்து பல அலகுகள் வேறுபட்டிருக்கிறது. முதலில் ஐசோமெர்கள் கதிரியக்கத்தின் அனுபவ ரீதியான ஒரு கிளையியல் எனக் கருதப்பட்டது. ஆனால், இப்போது அணுக்கரு அமைப்பின் ஆராய்ச்சியில் ஐசோமெர்கள் மிக முக்கியமான பங்கைப் பெற்றுள்ளன. வாழ்வுக் காலம். ஆற்றல் ஆகியவற்றின் தொடர்புகளை ஆராய்வதிலிருந்து அணுக்கரு அமைப்பின் விவரங்களை ஆராய்வதில் இப்போது கவனம் செலுத்தப்படுகிறது. இதனால் காமாக்கதிர் ஆற்றல்மட்ட மாற்றங்களின் வாய்ப்புகள் தீவிரமாக ஆராயப்படுகின்றன.

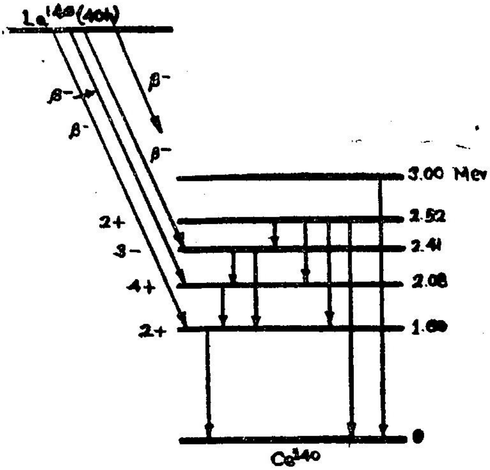
சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடங்கள்

குறைந்த வாழ்வுக்காலம் கொண்ட கிளர்ச்சியுற்ற நிலைகளால் வெளிப்படுத்தப்படும் γ கதிர்களைச் சார்ந்த சில சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடங்கள் (decay schemes) படம் 10-1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஒரு மட்டத்திற்குக் கொடுக்கப்பட்டுள்ள கோண உந்தம், சரிசம நிலை ஆகியவை அம்

மட்டத்தைக் குறிக்கும் கிடைமட்டக் கோட்டின் இடது நுனியில் குறிக்கப்பட்டுள்ளன; அடிநிலைக்கு மேலுள்ள ஆற்றல் கோடுகளின் வலது நுனியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு நிலையின் கோணஉந்தம் நேரடியாக அளவிடப்பட்டிருந்தால், வரைபடத்தில் அந்த உண்மை குவாண்டம் எண்ணின் கீழ் கோடிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளது. படம் 10-1 (a)-யில் Al^{127}-ன் அடிநிலையின் குவாண்டம் எண் $\underline{\frac{5}{2}}$ + என்றிருப்பது அது நேரடியாக அளவிடப்பட்டதைக் குறிக்கிறது. வேறு முறைகளில் தனிச் சிறப்பாகக் கோண உந்தம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருந்தால் எந்த மாறுதலும் இல்லாத குவாண்டம் எண்ணால் அது குறிப்பிடப்பட்டிருக்கிறது. உதாரணம், $\frac{1}{2}$ + என்ற Al^{27}-ன் முதல் கிளர்ச்சியுற்ற நிலை. இரட்டை எண் அணுக்கருக்களின் அடிநிலைகள் O கோண உந்தம் பெற்றுள்ளன. கோண உந்தத்திற்கு இருக்கக்கூடிய மதிப்புகள் வளை அடைப்புக் குறிகளுடன் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. Mg^{27}-ன் அடிநிலைக்குப் போன்று, சரிசமமான நிலைகளில் இரட்டைப்படையானவை நேர்குறியுடனும், ஒற்றைப்படையானவை எதிர்க் குறியுடனும் காட்டப்பட்டுள்ளன. சில சிதைவு இடநிலை விளக்கப் படங்கள் சிக்கலுள்ளவையாக இருக்கும். Bi^{206} சுற்றுப்பாதை எலெக்ட்ரான் கவர்தலால் சிதைவுற்று Pb^{206} ஆக மாறுகிறது. அதில் 12 கிளர்ச்சியுற்ற மட்டங்களும் 28 γ கதிர்களும் இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. ஆற்றல், கோண

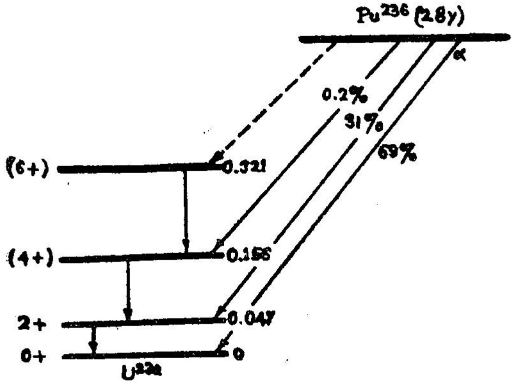


(a) Mg^{27}



(b)

(b) La^{140}



(c)

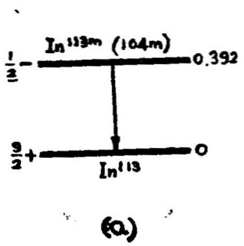
(c) Pu^{236}

படம் *10—1.*

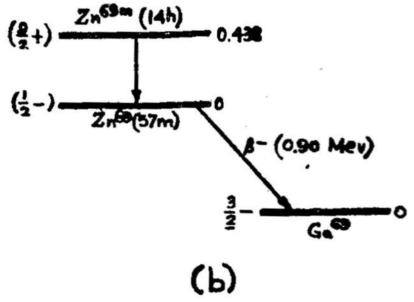
γ கதிர் வெளிப்படும்போது உள்ள ஆற்றல்மட்டங்களும், சிதைவு இடநிலை விளக்க வரை படங்களும்.

உந்தம், சரிசமநிலை ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் 10 மட்டங்களுக்கு உறுதிப்படுத்தப்பட்டுள்ளன; இரண்டு மட்டங்களுக்குத் தோராய மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. 28 γ கதிர்களும் சிதைவு இடநிலை விளக்கப் படங்களில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அவை யாவும், கொள்கை, பரிசோதனைப்படியான தேவைகளைப் பூர்த்தி செய்கின்றன.

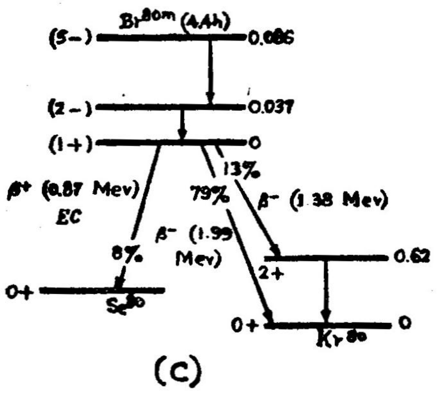
அணுக்கரு ஐசோமெர்களின் ஆற்றல் மட்டங்கள், சிதைவு இடநிலை விளக்கப் படங்கள் படம் 10-2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஐசோமெரிக் இரட்டைகள் இரண்டு விதமாகச் சிதைவுறலாம். என்பதை இப்படங்கள் காட்டுகின்றன. மிக எளிதான சிதைவு



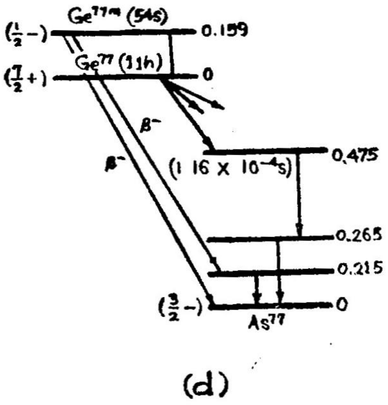
(a) In^{113m}



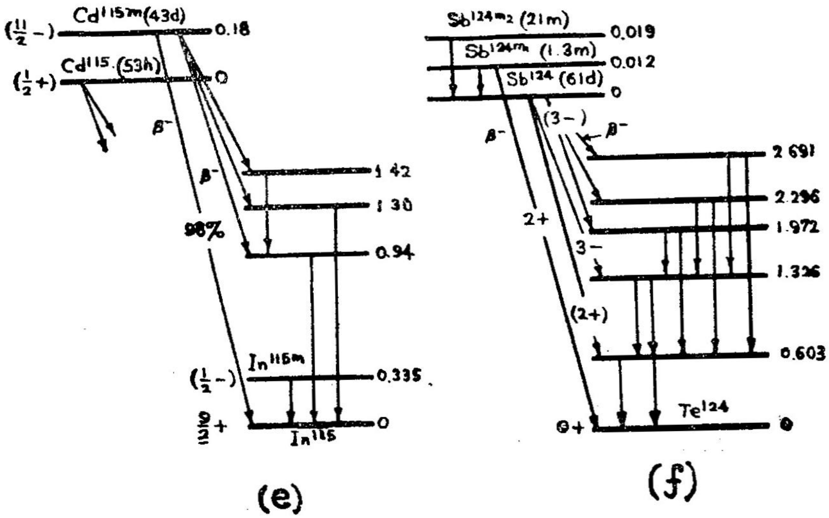
(b) Zn^{69m}



(c) Br^{80m}



(d) Ge^{77m}



(e) Cd^{115m} (f) Sb^{124m}

படம் 10—2

அணுக்கரு ஐசோமெர்களின் சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடங்கள்

முறையில் ஐசோமெரிக் மட்டம் γ வெளிவிடுப்பால் சிதைவுற்று அடிநிலையை அடைகிறது. அரைவாழ்வுக் காலம் 104 நிமிடம் கொண்ட In^{113m} ஆற்றல் 0·392 Mev கொண்ட ஒரு γ கதிரை வெளிவிட்டு நிலையான In^{113m} ஆக மாறுகிறது. சில ஐசோமெரிக் இரட்டைகளில் அடிநிலை நிலையானதாக இருப்பதற்குப் பதிலாகக் கதிரியக்கம் பெற்றிருக்கும். அது β^- வெளிவிடுப்பால் சிதைவுறும். இம்முறையில் 14 மணி நேர அரைவாழ்வு கொண்ட Zn^{69m} ஆற்றல் 0·438 Mev கொண்ட γ கதிரை வெளிவிட்டு அடிநிலைக்கு Zn^{69} ஆக மாறுகிறது. Zn^{69} மேலும் எலெக்ட்ரானை வெளிப்படுத்திச் சிதைவுற்று Ga^{69}-ன் அடிநிலைக்கு மாறுகிறது. கிளர்ச்சியுற்ற மட்டம் γ வெளிவிடுப்பால் மட்டும் அடிநிலைக்குச் சிதைவுற்றால், அந்த ஐசோமெரிக் இரட்டைகளைப் 'பிறப்பு வகையில் தொடர்பு கொண்டவை' எனக் கூறுவர். ஐசோமெரிக் இரட்டைகள் β^- வெளிவிடுப்பால் தனித்தனியாகவும் சிதைவுறலாம். படம் 10-2(e)-யில் காட்டப்பட்டுள்ளதில், விளை பொருளுக்கு இரண்டு ஆற்றல்மட்டங்கள் உள்ளன. படம் 10-2(f)-ல் உள்ள Sb^{124m_2}-வுக்கு மூன்று ஐசோமெரிசம் உள்ளது.

11. கதிரியக்க வளி

கதிரியக்கப் பருப்பொருள் வாயு வடிவில் இருப்பது கதிரியக்கச் செயல்முறைகளை விளக்க உதவுகிறது. மேலும், கதிரியக்கப் பொருள்களை, அவற்றை வெளிப்படுத்தும் செயல் திறமுடைய வேறு பொருள்களோடு சேராமல், தனித்து ஆராய இந்த வாயுக்கள் உதவுகின்றன. ரேடியம், தோரியம், ஆக்டினியம் ஆகியவற்றிற்கு ஒரு முக்கியமான தன்மை உண்டு. அவை தம்மைச் சூழ்ந்துள்ள வெளியில், கதிரியக்க வாயு விற்குரிய பண்புகளையுடைய பொருளைத் தொடர்ந்து வெளிவிடு கின்றன. இதுவே கதிரியக்க வளி (radioactive emanation) எனப்படுகிறது. இத்தகைய தன்மை யுரேனியம், போலோனியம், அயோனியம் ஆகியவற்றிற்குக் கிடையாது. இத்தகைய வெளியீடுகள் நுண் துளைகளை உடைய பொருள்களிலும் வாயுக் களிலும் விரைவாகப் பரவிக் கலந்துவிடுகின்றன. வாயுக்கள் மிகக்குறைந்த வெப்ப நிலையில் செறிவிக்கப்பட்டு, கதிரியக்க வெளியீடுகள் பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன. கதிரியக்கத் தனிமங் களையும், அவை தம்மைச் சுற்றியுள்ள பொருள்களுக்குக் கொடுக்கும் சக்தியையும் இணைக்கும் தொடர்பாகக் கதிரியக்க வளி விளங்குகிறது. ரேடியம், தோரியம், ஆக்டினியம் ஆகிய மூன்றிலிருந்தும் வெளிப்படும் கதிரியக்க வளிகள் ஒரே மாதிரி யான கதிரியக்கப் பண்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஆனால், மற்ற இரண்டைக்காட்டிலும் மெதுவான சிதைவு வீதத்தைப் பெற்றிருப்பதால், ரேடியம் வெளியீடுகளினால் ஏற்படும் விளைவுகளே முதன்மையாகத் தெரிகின்றன.

கண்டுபிடிப்பு

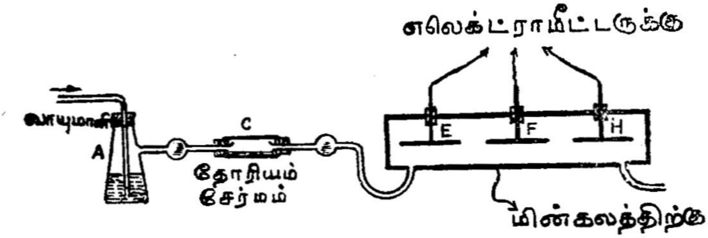
தோரியத்தின் கதிர்வீச்சுகளைப் பற்றி ஆராயும்போது, சில வகைத் தோரியம் சேர்மங்களில் (compounds) தனித்த தன்மைகள் இருப்பது காணப்பட்டது. திறந்த கலங்களில் வைக்கப்பட்டு மின்னியல் முறையில் ஆராய்ந்த போது, தோரியம் சேர்மங்கள் நிலையற்ற கதிரியக்கத் தோற்றுவாய்களாகத் தெரிந்தன. மூடப்பட்ட கலத்தில் கதிரியக்கப் பொருள் வைக்கப் பட்டவுடன், மின்னோட்டம் நேரம் ஆக ஆக அதிகரித்து ஒரு

நிலையான மதிப்பில் வந்து நின்றது. கலத்தில் காற்று இழுக்கப்பட்டபோது, அயனியாக்க மின்னோட்டம் குறைந்தது. மேலும், இக் கதிர்வீச்சு, α துகள்களை முழுவதும் உட்கவரக்கூடிய கனமான காகிதத்தையும் ஊடுருவிச் செல்லத்தக்கதாக இருந்தது.

தோரியம் சேர்மங்களிலிருந்து ஒரு வகையான கதிரியக்கப் பொருள்கள் வெளிப்படுவதே இதற்குக் காரணம் என ரூதர்ஃபோர்டு கண்டார். இதுவே 'கதிரியக்க வளி' எனப் படுகிறது. இது வாயுவில் அயனியாக்கம் செய்கிறது; ஒளிப் படத் தகட்டிலும் செயற்படுகிறது; நுண்துளைப் பொருள் களில் விரைந்து பரவுகிறது. வாயுவைப் போலவே இதனையும் மைகாத் தகட்டைக்கொண்டு தடுக்க முடியும். காற்றில் இது தூக்கிச் செல்லப்படுகிறது. கரைசல்களில் இதனைக் கரைக் கலாம். இவ்விதமாக இது, கதிரியக்கத்தினால் வாயுவில் உண்டாக்கப்படும் அயனிகளைப் போலல்லாமல், வேறு விதமாகச் செயற்படுகிறது. சோதனைகளின் மூலம் இது கதிரியக்கப் பருப்பொருளால் வெளிவிடப்படும் தூசுப்பொருள் (dust) கொண்டதல்ல என்றும், வாயு வடிவிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருளே என்றும் காணப்பட்டது. தோரியத்தின் கதிரியக்க வளி மிகக்குறைவான அளவே இருந்தாலும், அதன் அயனி யாக்க விளைவுகளைக்கொண்டு அவற்றை எளிதில் மின்காட்டி அல்லது எலெக்ட்ராமீட்டரால் அளக்கலாம்.

கதிரியக்க வளியை ஆராயப் பயன்படுத்தப்பட்ட ஒரு கருவியின் அமைப்பு படம் 11—1·ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. C என்ற கண்ணாடிக் குழாயில் தோரியம் சேர்மம் வைக்கப் பட்டுள்ளது. வாயுமானியிலிருந்து வரும் காற்று A என்ற குவளைக்குள் செலுத்தப்படுகிறது. தூசுப் பொருள்களை அகற்று வதற்காகக் காற்று பஞ்சின் மூலம் செல்கிறது. குவளையில் கந்தக அமிலம் உள்ளது. இதன் வழியே வரும் வாயு தோரியம் சேர்மம் வழியாக வந்து, கதிரியக்க வளியாக மாறி, D என்ற பஞ்சை அடைகிறது. இந்தப் பஞ்சு எல்லா அயனிகளையும் நீக்கிவிடுகிறது. பிறகு இக் கதிரியக்க வாயு ஒரு நீண்ட பித்தளை உருளையை அடைகிறது. இந்த உருளை காப்பிடப்பட்டு, மின் கலத்தின் உதவியால் தகுந்த மின்னழுத்த நிலையில் உள்ளது. உருளையின் அச்சில் E, F, H என்ற சம நீளமுள்ள மூன்று மின்வாய்கள் உள்ளன. கதிரியக்க வளியின் காரணமாக ஏற்படும் மின்னோட்டம் எலெக்ட்ராமீட்டரால் அளக்கப்பட்டது. இந்த உருளையில் ஏற்படும் மின்னோட்டம் முழுக்கவும் கதிரியக்க ளியினால் ஏற்பட்டதுதான். தோரியம் சேர்மத்திற்குப் பதில்,

யுரேனியம் சேர்மம் வைக்கப்பட்டபோது சிறிதளவு மின்னோட்டங்கூடக் காணப்படவில்லை.



படம் 11—1.

கதிரியக்க வளியை ஆராயும் கருவி.

நேரான கதிரியக்கத்தின் காரணமாக வாயு அயனியாக்கப் படும்போது ஏற்படுவதைப் போன்றே, மின்னழுத்தத்தின் வேறுபாடு காரணமாக மின்னோட்டம் வேறுபட்டது. மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும்போது மின்னோட்டமும் அதிகரித்து ஒரு பெரும நிலையை அடைந்தது. தோரியத்தின் கதிரியக்க வளி விரைவில் தன் செயல்திறனை இழந்துவிடுகிறது.

தோரியம் கதிரியக்க வளி கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின்னர், டார்ன் (Dorn) என்பவர் ரேடியம் கதிரியக்க வளியைக் கண்டு பிடித்தார். இது சாதாரண வெப்ப நிலையில் சிறிய அளவாகவும், ரேடியம் சேர்மம் சூடாக்கப்பட்டபோது அதிகமாகவும் இருந்தது. இது மற்றெல்லா வகையிலும் தோரியம் கதிரியக்க வளி போலவே இருந்தாலும், இதன் செயல்திறன் மிக மெது வாகவே குறைந்தது. இதன் பின்னர், கைசல் (Geisel) என்பவர் ஆக்டினிய கதிரியக்க வளியைக் கண்டுபிடித்தார்.

கதிரியக்க வளியின் சிதைவு

இக் கதிரியக்க வளிகள் நேரமாக ஆக e-ன் மடியாக செயல் திறனை இழக்கின்றன. இவற்றை வாயு வடிவிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களாகக் கருதவேண்டும். ஆரம்பத்தில் அணுக்களின் எண்ணிக்கை N_0 ஆகவும், t அளவு நேரமான பின்னர் அணுக் களின் எண்ணிக்கை N ஆகவும் இருந்தால்

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

இதில் λ என்பது, கதிரியக்க மாறிலியாகும். இச் சிதைவை அணுக்களின் எண்ணிக்கை அல்லது செயல்திறன் பாதியாகக் குறைவதற்கு ஆகும் நேரமான அரைவாழ்வு நேரப்படி குறிப் பிடுவது எளிமையானது.

தோரிய கதிரியக்க வளியின் அரைவாழ்வு நேரத்தைக் காண ரூதர்ஃபோர்டு, ரோசிக்னல் (Rosignol), பிரான்சன் (Bronson), ஹான் (Hahn) ஆகியோர் தனித்தனியாகச் சோதனைகள் செய் தனர். இறுதியில் அதன் அரைவாழ்வு நேரம் 54 செகண்டுகள் எனக் காணப்பட்டது. இக் கதிரியக்க வளியின் செயல்திறன் 10 நிமிடங்களில் முழுமையாக மறைந்துவிடுகிறது.

ஆக்டினிய கதிரியக்க வளியின் அரைவாழ்வு நேரத்தை டிபியர்ன் (Debierne) என்பவர் 3·9 செகண்டுகள் எனக் கணக் கிட்டார். ஹான், சாக்கூர் (Sackur) ஆகியோரும் தம் சோதனை களின் மூலம் இதே மதிப்பைக் கண்டனர். இக் கதிரியக்க வளியின் செயல்திறன் ஒரு நிமிட நேரத்தில் முழுமையாக மறைந்துவிடுகிறது.

மேற்கண்டவற்றைப் போலல்லாமல், ரேடிய கதிரியக்க வளி மெதுவாகவே தன் செயல் திறனை இழக்கிறது. பல வகைக் கதிரியக்க அளவீடுகளுக்கும் இக் கதிரியக்க வளி பயன்படுத்தப் படுவதால், இதன் சிதைவு வீதத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட வேண்டிய அவசியம் ஏற்பட்டது. இதன் முறையான அளவீட்டை பியரி க்யூரி 1902-ம் ஆண்டு துவக்கினார். பின்னர், ரூதர்ஃபோர்டு, சாடி, பம்ஸ்டெட் (Bumsteadt), வீலர் (Wheeler), ருமெலின் (Rumelin), க்யூரி அம்மையார் ஆகியோரும் தனித்தனி யாகச் சோதனைகள் செய்தனர். இறுதியில் அதன் அரைவாழ்வு நேரம் 3·85 நாள்கள் எனக் கணக்கிடப்பட்டது. அதன் சிதைவு வீதம் வெப்பநிலை வேறுபாடுகளைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை. இதன் கதிரியக்க மாறிலியான λ-வின் மதிப்பு

$$\lambda = 0{\cdot}1802\ (\text{நாள்})^{-1} = 2{\cdot}085 \times 10^{-6}\ (\text{செகண்டு})^{-1}.$$

சிதைவு மாறிலியின் மதிப்பு அதன் இயற்பியல், வேதியியற் பண்புகளைப் பொறுத்து மாறாமல், நிலையானதாக இருக்கிறது.

λ-வின் மதிப்பு எதனைப் பொறுத்தும் வேறுபடாமல், நிச்சய மான மாறிலியாக இருப்பதால், ரேடிய கதிரியக்க வளியின் சிதைவு வீதத்தை அடிப்படையாகக்கொண்டு நேரத்திற்கான

படித்தர அலகு ஒன்றை (Standard unit of time) உருவாக்கலாம் என பியரி க்யூரி கருத்துத் தெரிவித்துள்ளார்.

மூன்று கதிரியக்க வளிகளின் அரைவாழ்வு நேரங்களும், கதிரியக்க மாறிலிகளும் அட்டவணை 11-I-ல் ஒப்பிடப் பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 11-I

சிதைவு மாறிலி ஒப்பீடு

கதிரியக்க வளி	அரைவாழ்வு நேரம்	சராசரி வாழ்வு	கதிரியக்க மாறிலி
ஆக்டினியம்	3·9 செகண்டு	5·6 செகண்டு	0·178 (செகண்டு)$^{-1}$
தோரியம்	54 செகண்டு	78 செகண்டு	0·0128 (செகண்டு)$^{-1}$
ரேடியம்	3·85 நாள்	5·55 நாள்	$2{\cdot}085 \times 10^{-6}$ (செகண்டு)$^{-1}$

இக் கதிரியக்க வளிகளுக்குத் தனித்த இயற்பியற் பண்புகள் உள்ளன. சோதனைகளின்போது இவை ஹீலியம்-ஆர்கான் வகையைச் சேர்ந்த மந்த வாயுக்களைப் (inert gase) போல நடந்துகொள்கின்றன. அரைவாழ்வு நேரத்தை நிலைப்பாட்டுக்கு (stability) அளவுகோலாக எடுத்துக்கொண்டால், ஆக்டினியக் கதிரியக்க வளியைவிட ரேடிய கதிரியக்க வளி 85,000 மடங்கு நிலையானது எனத் தெரிகிறது.

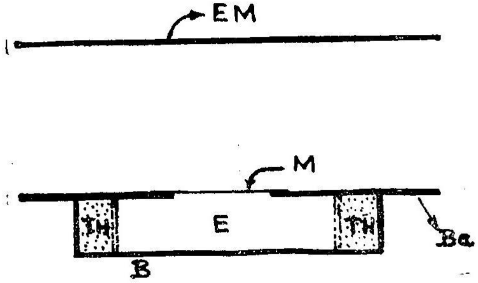
கதிர்வீச்சு

கதிரியக்க வளிகளிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சை ஆராயச் சிறப்பான முறைகள் கையாளப்பட வேண்டும். ஏனெனில், இக் கதிர்வீச்சுகள், கதிரியக்க வளி கலந்துள்ள வாயுவிலிருந்தே வெளிப்படுகின்றன.

தோரியம் கதிரியக்க வளியின் கதிர்வீச்சை ஆராய ருதர்ஃபோர்டு பயன்படுத்திய கருவியின் வரிவடிவ அமைப்பு

படம் 11-2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு செ.மீ. அகலமுள்ள காரீயப் பெட்டியினுள் தோரியம் சேர்மம் ஒரு காகிதத்தில் சுற்றப்பட்டு வைக்கப்பட்டது. பெட்டியின் மேல்பக்கம் சிறிது வெட்டப்பட்டு ஒரு மெல்லிய மைகாத் தகடு வைக்கப்பட்டது. கதிரியக்க வளி விரைவாகக் காகிதத்தின் மூலம் கலத்திற்குள் பரவி, பத்து நிமிடங்களில் பெரும அளவை அடைந்தது. மைகாத் தகட்டின் மூலம் சென்ற கதிரியக்க வளியின் கதிர்வீச்சின் ஊடுருவும் திறன், மெல்லிய அலுமினியச் சுருள்களைக்கொண்டு மின்னியல் முறையில் சோதனை செய்யப் பட்டது. பருமன் அதிகரித்தபோது மின்னோட்டம் குறைந்தது. α கதிர்கள் மட்டுமே வெளிப்பட்டன எனத் தெரிந்தது.

இதேபோல ரேடியம், ஆக்டினியம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்க வளிகளிலிருந்தும் α கதிர்கள் மட்டுமே வெளிப்படுகின்றன. β கதிர்களோ, γ கதிர்களோ வெளிவிடப்படுவதில்லை. ஆக்டினியம், தோரியம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்க வளிகளிலிருந்து இரண்டு வகையான α துகள்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன.



படம் 11—2

தோரியம் சேர்மத்தின் கதிர்வீச்சை ஆராயும் கருவி.

Th—தோரியம் சேர்மம்; EM—எலெக்ட்ராமீட்டருக்கு; B—பெட்டி; M—மைகா; Ba—மின்கலத்திற்கு; E—கதிரியக்க வளி.

கதிரியக்க வளி வெளிப்படுவதற்கான தகுதிகள்

ஒரு தோரியம் சேர்மத்திலிருந்து பெறப்பட வேண்டிய கதிரியக்க வளியின் அளவு, அதன் படுகையின் (layer) பருமனைப் பொறுத்து அமைகிறது. தோரியம் ஆக்சைடு ஒரு காகிதத்தில் சுற்றப்பட்டு மூடிய கலத்தினுள் வைக்கப்பட்டால், கலத்தினுள் காணப்படும் அயனியாக்க மின்னோட்டம் முழுக்கவும் கதிரியக்க

வளியினால் உண்டானதுதான். ஏனெனில், தோரியத்தால் வெளிவிடப்படும் α கதிர்கள் காகிதத்தால் உட்கவரப்பட்டு, கதிரியக்க வளி காகிதத்தின் மூலம் வெளியே பரவுகிறது. படுகையின் பருமன் அதிகரிக்க அதிகரிக்க கதிரியக்க வளியின் அளவும் அதிகரித்து இறுதியில் ஓர் உச்சவரம்பை அடைகிறது. உச்சவரம்பில், படுகையின் கீழிருக்கும் கதிரியக்க வளி மேலே வருவதற்குள் முழுமையாகச் சிதைவடைந்துவிடுகிறது. தோரியம் சேர்மத்திலிருந்து வெளிப்படும் கதிரியக்க வளியின் அளவை, அதனைச் சுற்றியுள்ள வாயுவின் தன்மையோ, அழுத்தமோ மாற்றுவதில்லை.

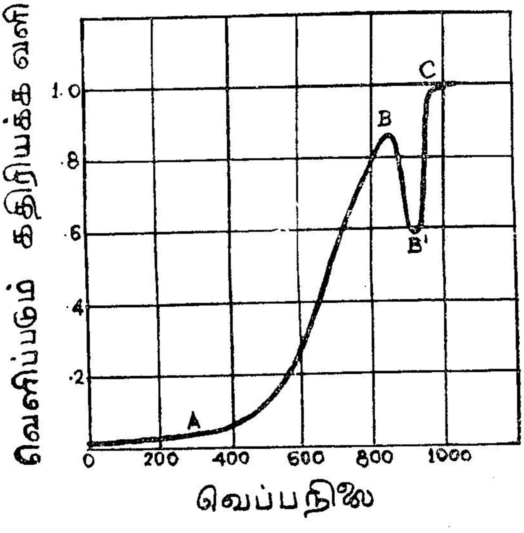
திட நிலையிலுள்ள தோரியம் சேர்மங்கள் வெளிப்படுத்தும் கதிரியக்க வளியின் அளவுகள் பெரிதும் மாறுபடுகின்றன. ஒரு செகண்டில் ஒரு கிராம் சேர்மம் வெளிவிடும் கதிரியக்க வளியின் அளவை 'வளிவிடு திறன்' (emanating power) எனக் குறிப்பிடுவோம். இது ஓர் ஒப்பீட்டு அளவுதான். சாதாரணமாக, ஒரு தோரியம் சேர்மத்தை அடிப்படையாகக்கொண்டு மற்ற சேர்மங்களின் வளிவிடு திறன் கணக்கிடப்படுகிறது.

தோரியம் ஆக்சைடின் வளிவிடு திறனில் 1/200 பங்குதான் திடநிலையிலுள்ள தோரியம் நைட்ரேட்டுக்கு இருக்கிறது. கார்பனேட்டு கலவைகளின் வளிதிறனில் மிகுந்த மாறுதல்கள் உள்ளன. சாதாரண தோரியம் ஆக்சைடைச் செஞ்சூடாகும் வரை அதன் வெப்ப நிலையை அதிகரித்தால் அதன் வளிவிடு திறன் 3 அல்லது 4 மடங்கு அதிகரித்தது. அதே அளவில் வெப்ப நிலை மாறாமல் இருந்தால், கதிரியக்க வளி அதிக அளவில் வெளிப்பட்டுக்கொண்டே இருக்கிறது. மீண்டும் குளிர்விக்கப் பட்டால் பழைய நிலையைத் திரும்ப அடைகிறது. தோரியம் நைட்ரேட் நீர்க்கரைசலாக இருக்கும்போது, திட நிலையில் இருப்பதைவிட, 600 முதல் 800 மடங்கு அதிக வளிவிடு திறன் பெற்றதாக இருக்கிறது. ஈரப்பதமான நிலையில் வளிவிடு திறன் இரண்டு மூன்று மடங்கு அதிகரிக்கிறது.

தோரியம், ரேடியம் சேர்மங்களின் இயற்பியல், வேதியியல் நிலைகளைப் பொறுத்து வளி விடு திறன் மாறுகிறது. கதிரியக்க வளியின் செயல்திறன், சிதைவடையும் வீதம் ஆகியவை இயற்பியல், வேதியியல் நிலைகளால் மாறுவதில்லை. இதனையும் கதிரியக்க வளி வெளிப்படும் அளவின் வீதமான வளிவிடு திறனையும் குழப்பிக்கொள்ளக் கூடாது. இரண்டும் வேறுபட்டவை.

ரேடியம் சேர்மங்கள் சாதாரண வெப்ப நிலைகளில் சிறிதளவுதான் கதிரியக்க வளியை வெளிப்படுத்துகின்றன. எஞ்சியுள்ள கதிரியக்க வளி, சேர்மத்தை உருகுமளவுக்குச் சூடாக்கும்போது வெளிப்படுத்தப்படுகிறது. ரேடியம் சேர்மம் பருமனான படுகையாக இருப்பதைவிட மெல்லிய ஏடாக இருக்கும்போது நிறைய கதிரியக்க வளியை வெளிப்படுத்துகிறது.

ரேடியம் சேர்மம் வெளிப்படுத்தும் கதிரியக்க வளியின் அளவு, வெப்ப நிலையைப் பொறுத்திராமல், சூடாக்கப்படும் நேரத்தைப் பொறுத்து அமைகிறது. கொடுக்கப்பட்ட வெப்ப நிலையில், வெளிப்படும் அளவு முதலில் நேரத்தோடு அதிகரித்து, மூன்று நான்கு மணி நேரமான பின்னர், ஓர் உச்சவரம்பை



படம் 11—3

ரேடியம் குளோரைடு வெளிப்படுத்தும் கதிரியக்க வளியின் அளவுக்கும் வெப்ப நிலைக்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டும் வரைபடம்.

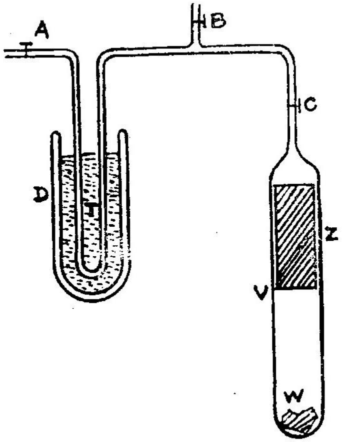
அடைகிறது. உருகிய ரேடியம் குளோரைடு வெளிப்படுத்தும் கதிரியக்க வளியின் அளவுக்கும் வெப்ப நிலைக்கும் உள்ள தொடர்பு படம் 11-3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. 400° ஆகும் வரை அளவு குறைவாகவே உள்ளது. பின்னர், 830° ஆகும் வரை அளவு விரைந்து அதிகரிக்கிறது. பிறகு, 920° வரை குறைந்து,

பின்னர் 1000° வரை அதிகரிக்கிறது. 1000° வெப்ப நிலையில் கதிரியக்க வளி முழுமையாக வெளிப்பட்டுவிடுகிறது. நடுவில் அளவு குறைவதற்கு, சேர்மத்தின் இயற்பியல் மாறுவதே காரணமாகும்.

ரேடியம் கதிரியக்க வளியைப் பெறுவதற்கு, ரேடியத்தைக் கரைசலாக்கி, பாதரச பம்பு மூலம் கதிரியக்க வளியைப் பெறுவதே சிறந்த வழியாகும். இம் முறையில், உருகு நிலை அளவுக்குச் சூடாக்க வேண்டிய அவசியமில்லை.

கதிரியக்க வளியைச் சுருக்குதல்

கதிரியக்க வளியைக் குளிர்வு முறைகளில் சுருக்கலாம் என மெய்ப்பிக்கப்பட்ட பின்னர் அவற்றின் தன்மைபற்றி நன்கு அறிய முடிந்தது. இதன் மூலம் அவை சாதாரண வாயுக்களைப் போலவே இயங்குகின்றன எனத் தெரிந்தது. மிகக் குறைந்த வெப்ப நிலைகளில் விளைவுகள் ஆராயப்பட்டபோது, திரவக்காற்றின் வெப்ப நிலையில் ரேடியம், தோரியம் கதிரியக்க வளிகள் சுருக்கப்படுகின்றன (condense) என ரூதர்ஃபோர்டும் சாடியும் கண்டுபிடித்தனர்.



படம் 11—4

கதிரியக்க வளி சுருங்குதலையும் ஆவியாதலையும் காட்டும் சோதனைக் கருவியின் அமைப்பு.

Z—சிங்க் சல்ஃபைடு திரை ;
W—வில்லமைட் ;
A, B, C—அடைப்பான்கள் ;
T—திரவக் காற்றில் மூழ்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ள U வடிவக்குழாய்

கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட U வடிவக் குழாயில் ரேடியம் கதிரியக்க வளியைச் சுருங்குமாறு செய்தால், கதிர் வீச்சுகள் கண்ணாடியில் ஏற்படுத்தும் நின்றொளிர் (phosporescence) தன்மையைக்கொண்டு, சுருங்கும் விதத்தைக் கண்ணால் காணலாம். கதிரியக்க வளி சுருங்குதலையும், ஆவியாதலையும் வேறு பல தன்மைகளையும் காட்டும் சோதனைக்கருவியின் அமைப்பு படம் 11—4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. சில மில்லி கிராம் ரேடியம் உப்பிலிருந்து பெறப்பட்ட கதிரியக்க வளி T என்ற கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட U வடிவக் குழாயில்

சுருக்கப்படுகிறது. இக் குழாய் திரவக்காற்றில் மூழ்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ளது. இக் குழாய் T, இன்னும் பெரியதான மற்றொரு கண்ணாடிக் குழாய் V யுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. V-யின் மேல்பாகத்தில் துத்தநாக சல்ஃபைடு திரை Z-ம், அதன் கீழ் பாகத்தில் வில்லமைட் (Willemite) கனிமத்தின் ஒரு துண்டு W-வும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. குழாய் அடைப்பான் A மூடப் பட்டு, குழாய் அடைப்பான் B-யினால் U குழாயும் V குழாயும் பகுதி வெற்றிடமாக்கப்படுகின்றன (partial vacuum). இதனால் அழுத்தம் குறைகிறது. இதனால் கதிரியக்க வளி வெளிவிடப் படும்போது விரைவாகப் பரவுகிறது. T, திரவக்காற்றில் மூழ்கி யிருந்தால் கதிரியக்க வளி வெளியேறுவதில்லை. பின்னர் குழாய் அடைப்பான் B மூடப்பட்டுத் திரவக்காற்று நீக்கப்படுகிறது. V-யில் உள்ள திரையிலோ அல்லது வில்லமைட்டிலோ ஒளிர்வு ஏதும் பல நிமிடங்களுக்குக் காணப்படுவதில்லை. வளி ஆவி யாகும் அளவுக்கு வெப்ப நிலை அதிகரித்தவுடன் கதிரியக்க வளி பரவி V-யை அடைகிறது. திரையும் வில்லமைட்டும் கதிரியக்க வளியின் கதிர்களால் ஒளிர்கின்றன.

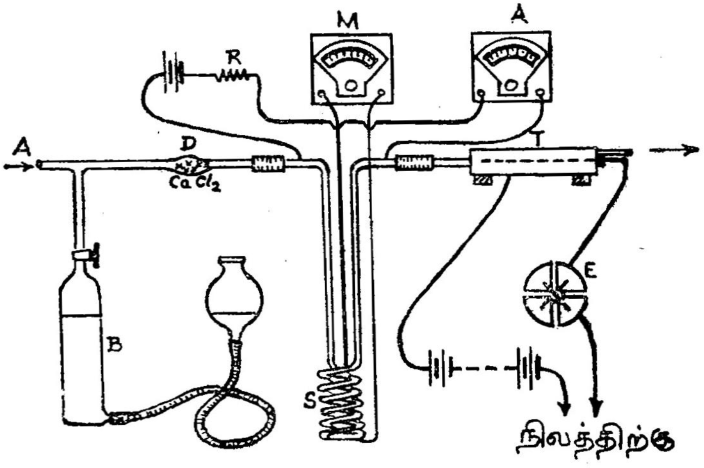
இப்போது V குழாய் திரவக்காற்றில் மூழ்குமாறு வைக்கப் பட்டால், மீண்டும் குழாயின் அடிப்பாகத்தில் கதிரியக்க வளி சுருங்குகிறது; வில்லமைட் முன்னைவிட அதிகமாக ஒளிர்கிறது. அதே சமயத்தில் துத்தநாக சல்ஃபைடின் ஒளிர்வு மங்கி, பல மணி நேரமான பின்னர் முற்றிலும் மறைந்துவிடுகிறது. திரவக் காற்று நீக்கப்பட்டால் மீண்டும் கதிரியக்க வளி ஆவியாகி மீண்டும் Z ஒளிர்கிறது.

சுருங்குவதற்கான வெப்ப நிலை

ரேடியம், தோரியம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்க வளி சுருங்குவ தற்கும், ஆவியாவதற்கும் ஆகும் வெப்ப நிலை பற்றிய ஆய்வுகள் ரூதர்ஃபோர்டால் மேற்கொள்ளப்பட்டன. அதற்குப் பயன்பட்ட கருவியின் அமைப்பு படம் 11—5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. A வழியாக நுழையும் வாயு, ஈதலின் திரவத்தில் மூழ்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ள S என்ற தாமிரச் சுருள்வில் (spring) வழி யாகச் செல்கிறது. தாமிரச் சுருள்வில்லின் மின்தடையைக் காண்பதன் மூலம் அதனையே வெப்ப நிலை மானியாகப் பயன் படுத்தலாம். ஈதலின் திரவத்தின் கொதிநிலையான —103·5°, உறைநிலையான —169° மற்றும் 0° ஆகிய வெப்ப நிலைகளில் மின் தடை கணக்கிடப்பட்டு, வெப்ப நிலை — மின்தடை வரைபடம் வரையப்பட்டு, வெவ்வேறு மின்தடைகளுக்கான வெப்ப நிலை காணப்படுகிறது. சுருள்வில்லின் மின்தடை ஒரு துல்லியமான

மில்லிவோல்ட் மீட்டர் மூலம் காணப்படுகிறது. ஈதலின் திரவம் ஒரு மோட்டாரினால் கலக்கப்பட்டு, திரவக்காற்றினால் தேவையான வெப்ப நிலைக்குக் குளிர்விக்கப்படுகிறது.

சுருள்வில் முதலிலேயே சுருங்கும் வெப்ப நிலைக்கும் குறைவாகக் குளிர்விக்கப்படுகிறது. வாயுவுடன் கலந்த ரேடியம் கதிரியக்க வளி B என்ற கலத்திலிருந்து விடுவிக்கப்பட்டுச் சுருள் வில்லை அடைகிறது. சுருள்வில்லில் கதிரியக்க வளி சுருங்கிய பின்னர் மின்பகு (electrolytic) ஹைட்ரஜன் அல்லது ஆக்சிஜன் சுருள்வில் வழியாகச் செலுத்தப்படுகிறது. வெப்ப நிலை சீராக அதிகரிக்கப்பட்டு, எலெக்ட்ராமீட்டரில் விலக்கம் தெரியும் கணம் குறிக்கப்படுகிறது. இப்போது சோதனைக்கலம் T-யில்



படம் 11–5

கதிரியக்க வளி சுருங்குவதற்குத் தேவையான வெப்ப நிலையைக் காணும் கருவியின் அமைப்பு.

R–மின்தடை ; **M**-மில்லி வோல்ட் மீட்டர் ; **A**–அம்மீட்டர் ; **B**-வாயுக்கலம் **T**-சோதனைக் கலம் ; **E**-எலெக்ட்ராமீட்டர் ; **S**-தாமிரச் சுருள் ; **A**–வாயு செல்லும் வழி.

கதிரியக்க வளி உள்ளது எனப் பொருள். கதிரியக்க வளி ஆவியாதற்கு ஆகும் வெப்ப நிலை மின்தடை மூலம் கணக்கிடப்படுகிறது. பின்னர், சோதனைக்கலத்தின் அயனியாக்க மின்னோட்டம் விரைவில் பெரும அளவை அடைகிறது. இதன் மூலம் வெப்ப நிலை சிறிது உயர்ந்தவுடனேயே ரேடியம் கதிரியக்க

வளி முழுவதும் ஆவியாகிவிடுகிறது எனத் தெரிகிறது. ஆவியாகும் வெப்ப நிலை சுமார் —160°C ஆகும்.

ரேடியம் கதிரியக்க வளி சுருங்கும் வெப்ப நிலையும் ஆவியாகும் வெப்ப நிலையும் அருகருகாக இருந்தாலும், வேறுபாடு கூர்மையாக உள்ளது. ஆனால், தோரியம் கதிரியக்க வளி முழுவதும் சுருங்கச் சுமார் 30°C தேவைப்படுகிறது. —120°C-ல் சுருங்க ஆரம்பிப்பது, —155°C-ல்தான் முழுவதும் சுருங்குகிறது.

ஆக்டினியம் கதிரியக்க வளியின் சுருங்கும் வெப்ப நிலையை ஹென்றியட், கினோசிட்டா (Henriot and Kinoshita) ஆகியோர் கணக்கிட்டனர். ஹென்றியட்டின் சோதனையில், தொடராகப் பல U வடிவக் குழாய்கள் வைக்கப்பட்டு ஒரு புறத்தில் தோரியம் கதிரியக்க வளியும், மறுமுனையில் துத்தநாக சல்ஃபைடு திரையும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. U குழாய்கள் முதலில் குளிர்விக்கப்பட்டு வெப்ப நிலைமானியால் வெப்ப நிலை காணப்பட்டது. பின்னர், வெப்ப நிலை அதிகரிக்கப்பட்டபோது, —143°C-ல் திரையில் சுடர்கள் காணப்பட்டன. சுடர்களின் எண்ணிக்கை —103°C வரை அதிகரித்தது. இந்த இரண்டு வெப்பநிலைகளும் கதிரியக்க வளி முழுமையாகச் சுருங்க ஆரம்பிப்பதற்கும், முடிவதற்கும் ஆகும் எல்லைகளைக் குறிக்கின்றன.

சுருங்கும் தன்மையில் ரேடியக் கதிரியக்க வளிக்கும் தோரியம், ஆக்டினியம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்க வளிகளுக்கும் ஒரு வேறுபாடு தென்படுகிறது. ரேடியம் கதிரியக்க வளி மிகக் குறுகிய வெப்ப நிலை எல்லைகளில் சுருங்கி ஆவியாகிறது. தோரியம், ஆக்டினியம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்க வளிகளின் வெப்ப நிலை எல்லைகள் 30° முதல் 40° வரை இருக்கின்றன. இதற்கு அவற்றின் உள்ள பருப்பொருளின் அளவே காரணமாக இருக்க வேண்டும். கதிரியக்க வளியிலிருந்து விநாடிக்கு 100 α துகள்கள் வெளிப்பட்டால், எலெக்ட்ராமீட்டரில் எளிதில் அளக்கக்கூடிய அளவு மின்னோட்டம் ஏற்படும். சமமான விளைவுகள் ஏற்பட மூன்று கதிரியக்க வளிகளிலும் இருக்க வேண்டிய அணுக்களின் எண்ணிக்கை வேறுபடுகிறது. உரு மாற்றக் கொள்கைப்படி (theory of transformation) N அணுக்கள் இருந்தால் செகண்டுக்கு λ N அணுக்கள் வெளிப்படுகின்றன. செகண்டுக்கு 100 α துகள்கள் வெளிப்பட ரேடியம், தோரியம், ஆக்டினியம் கதிரியக்க வளிகளில் இருக்க வேண்டிய அணுக்களின் எண்ணிக்கை முறையே $4{\cdot}3\times10^8$, $7{\cdot}8\times10^3$, $5{\cdot}62\times10^2$ ஆகும். எனவே, சமமான மின்விளைவுகளுக்கு

ரேடியம் கதிரியக்க வளியின் அளவு, தோரியம் கதிரியக்க வளியின் அளவைவிட 5000 மடங்கு அதிகமிருக்க வேண்டும். வெப்ப நிலை எல்லைகளில் உள்ள வேறுபாடுகளுக்கு இதுவே காரணமாக இருக்க வேண்டும்.

திரவக்காற்றின் வெப்ப நிலையில் ரேடியம் கதிரியக்க வளி சுருங்குகிறது என்ற உண்மை கண்டு பிடிக்கப்பட்டதன் காரணமாக, அது கலந்திருக்கும் வாயுவிலிருந்து அதனை எளிதில் பிரித்தெடுக்கவும், சோதனைச்சாலைகளில் கதிரியக்க வளியை அடர்விக்கவும், தூய்மையாக்கவும் எளிதாக உள்ளது.

திரவங்களால் உட்கவரப்படும் கதிரியக்க வளி

க்யூரி அம்மையாரால் முதலில் செய்யப்பட்ட சில சோதனைகளிலிருந்து நீர் கதிரியக்க வளியை உட்கவர்கிறது எனத் தெரிந்தது. பின்னர், கிணற்று நீர், ஊற்றுகள் ஆகியவற்றில் ரேடியம் இல்லாமல், ரேடியம் கதிரியக்க வளி மட்டும் இருப்பது காணப்பட்டதால், கதிரியக்க வளி நீரில் கரையும் தன்மை வாய்ந்தது எனத் தெரிந்தது. ட்ராபென்பர்க் (Traubenburg) இது குறித்துப் பல சோதனைகள் செய்து நிச்சயமான முடிவுகளைத் தந்துள்ளார். ரேடியம் கதிரியக்க வளி கொண்ட காற்றை நீருடன் குலுக்கினால் விரைவில் ஒரு சமநிலை ஏற்படுகிறது. இச் சமநிலையில் கதிரியக்க வளி நீரிலும் காற்றிலும் குறிப்பிட்ட விகிதங்களில் பிரிகிறது. இவ் வகை, ஹென்றி விதியின்படி இயங்கும் சாதாரண வாயுக்களைப் போலவே கதிரியக்க வளி இயங்குகிறது. திரவத்தில் கதிரியக்க வளியின் உட்கவர் எண்ணைக் கீழ்க்காணும் விகிதத்தில் கணக்கிடலாம். உட்கவர் கலத்திலுள்ள காற்று அல்லது வேறு வாயுவின் கன அளவு V_1 என்றும், திரவத்தின் கன அளவு V_2 என்றும் கொள்வோம். சமநிலை வந்தவுடன் வாயுவுடன் கலந்திருக்கும் கதிரியக்க வளியின் மொத்த அளவு E_1 என்றும், திரவத்துடன் கலந்திருக்கும் அளவு E_2 எனவும் கொள்வோம் வாயுவுடன் கலந்திருக்கும் கதிரியக்க வளியின் அடர்வு (concentration) E_1 / V_1 ஆகவும், திரவத்துடன் கலந்துள்ள கதிரியக்க வளியின் அடர்வு E_2 / V_2 ஆகவும் இருக்கும். உட்கவர் எண் α வைக் கண்டு பிடிக்க இந்த அடர்வுகளின் விகிதத்தைக் கணக்கிட்டால் போதும்.

$$\alpha = \frac{E_2 / V_2}{E_1 / V_1} = \frac{E_2 V_1}{E_1 V_2}$$

α வின் மதிப்பை 0·33 என் ட்ராபென்பர்க் கணக்கிட்டார். பின்னர், பலரும் செய்த சோதனைகளிலிருந்து வெப்ப நிலை அதிகரிக்கும்போது α-வின் மதிப்பு குறைகிறது எனத் தெரிந்தது. 1911 ம் ஆண்டு γ கதிர் முறையில் பாயில் (Boyle) கண்டுபிடித்த முடிவுகள் அட்டவணை 11-II-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 11-II

வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் நீரால் உட்கவரப்பட்ட ரேடியம் கதிரியக்க வளி — உட்கவர் எண்கள்

வெப்ப நிலை	உட்கவர் எண் α	வெப்ப நிலை	உட்கவர் எண் α
0°C	·507	20·3°C	·250
4·3°C	.424	26·8°C	·206
5·7°C	.398	31·6°C	1·193
10·0°C	·340	34·8°C	·176
14·0°C	·303	39·1°C	·160

சாதாரண நீரைவிடக் குறைந்த அளவு கதிரியக்க வளியை உப்புநீர் உட்கவர்கிறது. 14°C வெப்ப நிலையில் உப்பு நீரின் உட்கவர் எண் 0·255; சாதாரண நீரின் உட்கவர் எண் 0·303. அங்ககத் திரவங்கள் (organic liquids) அதிக அளவில் ரேடியம் கதிரியக்க வளியை உட்கவர்கின்றன. ஈவா ராம்ஸ்டெட் (Eva Ramstedt) என்னும் அம்மையாரால் திரவங்களுக்குக் காணப்பட்ட உட்கவர் எண்களின் மதிப்பு அட்டவணை 11-III-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

விரைவில் சிதைவடைவதால் தோரியம், ஆக்டினியம் கதிரியக்க வளிகளின் உட்கவர் எண்களைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடுவது கடினமாக உள்ளது. தோரியம் கதிரியக்க வளி உட்கவர் எண் நீருக்கு 1·05 எனவும், பெட்ரோலியத்திற்கு 5·01 எனவும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன. ஆக்டினிய கதிரியக்க வளிகளின் உட்கவர் எண்கள், ரேடியம் கதிரியக்க வளிகளின் உட்கவர் எண்களுக்குச் சமமாக உள்ளன.

எல்லாத் திரவங்களும் கதிரியக்க வளிகளை உட்கவர்கின்றன என்றும், அளவுதான் மாறுபடுகிறது என்றும் தெரிகிறது. இந்த உட்கவர் எண்களின் மதிப்புகள் மிக முக்கியமானவை. கடலிலும் நிலத்திலும் பரவியுள்ள கதிரியக்க வளிகளின் அளவைக் கணக்கிட இது உதவும்.

அட்டவணை 11-III

திரவங்கள் உட்கவரும் ரேடியம் கதிரியக்க வளி

திரவம்	உட்கவர் எண் α		
	+ 18°C	0°C	—18°C
கிளிசரின் (Glycerene)	0·21	—	—
நீர்	0·285	0·52	—
அனிலீன் (Aniline)	3·8	4·45	—
ஆல்கஹால் (Alchohol)	6·17	8·28	11·4
அசிடோன் (Acetone)	6·30	7·99	10·8
ஈதைல் அசிடேட் (Ethyl Acetate)	7·35	9·41	13·6
பாரஃபின் எண்ணெய் (Paraffin oil)	9·2	12·6	—
பென்ஸீன் (Benzene)	12·82	—	—
சைலீன் (Xylene)	12·75	—	—
டோலூன் (Tolune)	13·24	18·4	27·0
குளோரோஃபோர்ம் (Chloroform)	15·08	20·5	28·5
ஈதர் (Ether)	15·08	20·9	29·1
ஹெக்சேன் (Hexane)	16·56	23·4	35·2
கார்பன்-பை-சல்பைடு (Carbon-bi-sulphide)	23·14	33·4	50·3

திடப்பொருள்களால் உட்கவரப்படும் கதிரியக்க வளி

ரேடியம் கதிரியக்க வளி படும்படி ஒரு பொருள் சில மணி நேரங்களுக்கு வைக்கப்பட்டால், அப் பொருள் கதிரியக்கத் தன்மை பெறுகிறது. இந்த இயக்கம் விரைவில் சிதைவடைந்து 12 மணி நேரங்களில் மிகக்குறைவாகிவிடுகிறது. ஆனால், ரப்பர், செல்லுலாயிட் (Celluloid) போன்ற சில பொருள்களில் சில மணி நேரங்களில் மறையாமல், சில நாள்களுக்குக் கதிரியக்கம் இருக்கிறது. அப் பொருள்கள் ரேடியம் கதிரியக்க வளியை உட்கவர்வதே இதற்குக் காரணம். காரீயம் போன்ற சில உலோகங்களிலும், கரி போன்ற சில நுண்துளைப் பொருள்களிலும் இத்தகைய உட்கவர்தல் நிகழ்கிறது. கரியினால், குறிப்பாகத் தேங்காயின் கரியினால், ரேடியம், தோரியம், ஆக்டினியம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்க வளிகள் நன்கு உட்கவரப்படுகின்றன. வளி மண்டலத்தில் உள்ள ரேடியம் கதிரியக்க வளியின் அளவைத் தீர்மானிக்க, தேங்காய்க் கரியின் உட்கவரும் தன்மை பயன்படுத்தப்பட்டது.

விரவல் தன்மை

தேவையான அளவு ரேடியம் கதிரியக்க வளி தனித்துப் பெறப்பட்டு, அதன் அடர்த்தி, கொதி நிலை, நிறமாலை போன்றவை தீர்மானிக்கப்பட்டுள்ளன. இதிலிருந்து ரேடியம் கதிரியக்க வளியை அணு எடை எண் (Atomic weight) 222 கொண்ட ஓர் ஒற்றையணு வாயுவாகக் கருதவேண்டும்; மற்ற வாயுக்களிலிருந்து இதனைப் பிரித்தறியக்கூடிய தனித்த இயற்பியல், வேதியியற் பண்புகள் இதற்கு உண்டு. தோரியம், ஆக்டினியம் கதிரியக்க வளிகள் மிக விரைவில் சிதைவடைவதால், தேவையான அளவைத் தனித்துப் பெற்றுச் சோதனை செய்வது மிகக் கடினமாக உள்ளது. அவையும் வெவ்வேறு அதிக அணு எடை எண் கொண்ட கதிரியக்க வாயுக்களாகவே இருத்தல் வேண்டும். நேரான முறையில் இவற்றைச் சோதனை செய்ய இயலவில்லை; விரவல் முறை இதற்கு உகந்ததாக விளங்கியது. இவை காற்றிலும் மற்ற வாயுக்களிலும் விரவும் விதத்தை, மூலக்கூறு எடை எண் (Molecular weight) தெரிந்த மற்ற வாயுக்களின் விரவும் விதத்தோடு ஒப்பிடுவதன் மூலம் இவற்றின் மூலக்கூறு எடை எண்களைக் காணலாம். இதனை ஒரு சிறு உதாரணம் மூலம் காண்போம்.

மந்த வாயு நிரப்பப்பட்ட ஓர் உருளையில் கதிரியக்க வளி விரவுவதாகக் கொள்வோம். உருளையின் அச்சிலுள்ள ஒரு

நிலையான புள்ளியிலிருந்து x தூரத்தில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை ஒரு க.செ.மீ.க்கு N ஆக இருக்கட்டும். வாயுவில் கதிரியக்க வளியின் விரவல் எண் (coefficient of diffusion) D ஆக இருக்கட்டும். எனவே, விரவல் காரணமாக, ஒரு க.செ.மீ.-ல் ஏற்படும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும் வீதம்

$$= D \frac{d^2N}{dx^2} .$$

கதிரியக்க வளி தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டே இருப்பதாலும், கதிரியக்க மாறிலி λ-வாக இருப்பதாலும், இதனுல் ஒரு க.செ.மீ.-ல் ஏற்படும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை குறையும் வீதம் $= \lambda N$.

$$\text{எனவே,}\ \frac{dN}{dt} = D \frac{d^2N}{dx^2} - \lambda N.$$

சீரான நிலை ஏற்பட்டவுடன்

$$\frac{dN}{dt} = 0$$

$$\text{எனவே,}\ D \frac{d^2N}{dx^2} = \lambda N.$$

பல சோதனைகளின் முடிவில் ரேடியம் கதிரியக்க வளியின் விரவல் எண் D-யின் மதிப்பு 0·07லிலிருந்து 0·101-க்குள் இருக்கும் எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

தோரியம், ஆக்டினியம் கதிரியக்க வளிகளின் விரவல் எண்களைக் காண்பதற்கு உருவாக்கப்பட்ட சோதனைக் கருவியின் அமைப்பு படம் 11-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. P என்ற நீண்ட பித்தளை உருளையின் அடிப்பாகத்திற்கு அருகில், தோரியம் ஹைட்ராக்சைடு கொண்ட C என்ற தகடு கிடைமட்டமாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. கதிரியக்க வளி உருளையின் மேற்புறத்தில் விரவுகிறது. விரைவில், விரவல் காரணமாக அணுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும் வீதமும், சிதைவின் காரண

மாகக் குறையும் வீதமும் சரியீடு செய்யப்படுகிறது. இப்போது, தோரியம் வைக்கப்பட்டுள்ள தகட்டிலிருந்து x தூரத்தில்,

$$D \frac{d^2N}{dx^2} = \lambda N.$$

இச் சமன்பாட்டின் தீர்வு:

$$N = A e^{-\sqrt{\frac{\lambda}{D}}x} + B e^{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}x}$$

$x = \infty$ ஆக இருக்கும்போது $N = O$; எனவே, $B = O$.

$x = O$ ஆக இருக்கும்போது $N = N_0$ வாக இருந்தால் $A = N_0$.

எனவே, $N = N_0 e^{-\sqrt{\frac{\lambda}{D}}x}$

எனவே x, அதாவது தூரம், அதிகமாக அதிகமாகக் கதிரியக்க வளியின் அடர்வு படிப்படியாகக் குறைகிறது. தோரியம், ஆக்டினியம் கதிரியக்க வளிகளின் விரவல் எண்களின் வீதம் 11·9 ஆகும்.

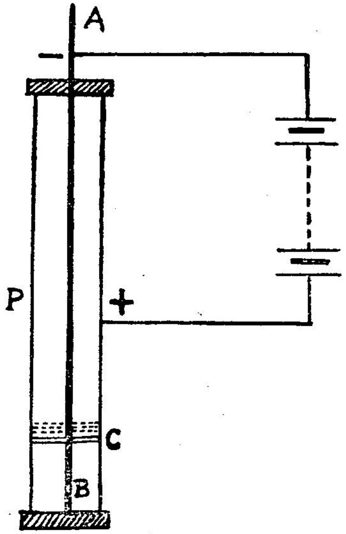
திரவங்களில் கதிரியக்க வளியின் விரவல்

பல்வேறு திரவங்களில் ரேடியம் கதிரியக்க வளியின் விரவல் தன்மை பற்றி வால்ஸ்டேப் (Wallstabe) சோதனைகள் செய்தார். ஓர் உருளையில் திரவம் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டு, கதிரியக்க வளி திரவத்திற்கு மேலுள்ள இடத்தில் செலுத்தப் பட்டது. குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குப் பிறகு, பல மட்டங்களி லிருந்து திரவங்கள் எடுக்கப்பட்டு, கதிரியக்க வளியின் அளவு காணப்பட்டது. விரவல் எண் D,

$$N_x = N_0 e^{-\sqrt{\lambda/D}\,x}$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடப்பட்டது. x என்பது, திரவத்தின் மேல்மட்டத்திலிருந்து எடுக்கப்பட்ட ஆழத்தைக்

குறிக்கும். **D**-யின் மதிப்பு 0·066 செ.மீ.^{2}/நாள் எனக் கணக்கிடப் பட்டது. இம் முடிவுகள் ரேடியம் கதிரியக்க வளி அதிக அணு



படம் 11—6

தோரியம் கதிரியக்க வளியின் விரவல் எண்ணைக் காண ரூதர்ஃபோர்டு பயன்படுத்திய அமைப்பு.

P-பித்தளை உருளை ; **C**-தோரியம் ஹைட்ராக்சைடு உள்ள தட்டு.

எடை எண் கொண்ட வாயுவைப்போலச் செயற்படுகிறது என்ற உண்மையை உறுதிப்படுத்துகிறது.

12. புவி, வளிமண்டலம் ஆகியவற்றின் கதிரியக்கம்

வளிமண்டலத்திலும் புவியின் பல பகுதிகளிலும் காணப் படும் கதிரியக்கப் பொருள்களின் தன்மை பற்றியும், அவை எவ்வாறு பகிர்வு செய்யப்பட்டுள்ளன என்பது பற்றியும் ஏராள மான ஆய்வுகள் நிகழ்த்தப்பட்டுள்ளன. இவை அனைத்தையும் இச்சிறு பகுதியில் கூற இயலாது; முக்கியமான சில முடிவு களைப் பற்றி மட்டும் இங்கு காண்போம்.

எல்ஸ்டர், கெய்டல் (Elster and Geital) ஆகிய இரு விஞ்ஞானிகளுமே இத் துறையின் ஆராய்ச்சிக்கு முன்னோடி களாவர். 1901-ம் ஆண்டு கெய்டலும், சி. டி. ஆர். வில்சனும் தனித்தனியாக, மூடிய கலத்தினுள் வைக்கப்படும் ஒரு மின் கடத்தி சிறிது சிறிதாக மின்னூட்டத்தை இழக்கிறது எனவும், கலத்தினுள் இருக்கும் காற்றில் அயனியாக்கம் நடைபெறுவதே இதற்குக் காரணம் எனவும் கண்டனர். எல்ஸ்டரும் கெய்டலும் மேலும் சில உண்மைகளைக் கண்டனர். அவையாவன: திறந்த வெளியில் வைக்கப்படும் மின்னூட்டமுள்ள பொருளும் மின் னூட்டத்தை இழக்கிறது; இடத்தையும் வளிமண்டல நிலைமை யையும் பொறுத்து சிதைவு வீதம் அமைகிறது. வளிமண்ட லத்தில் கலந்திருக்கும் கதிரியக்கப் பொருளே இதற்குக் காரண மாக இருக்கவேண்டும்.

முதல் சோதனையாக, —600 வோல்ட் மின்னூட்டமுடைய கம்பி வலை உருளை ஒன்று பல மணி நேரம் திறந்த வெளியில் வைக்கப்பட்டது. உடனே ஒரு மணிஜாடியில் வைக்கப்பட்டு மின்காட்டியினால் அதன் மின்னிறக்க வீதம் அதிகரித்திருப்பது காணப்பட்டது. பிறகு, அது நிலத்திலிருந்து சிறிது உயரத்தில் வைக்கப்பட்டு, அதன் மின்னிறக்க வீதம் பலமடங்கு அதிகரித் திருப்பது காணப்பட்டது. அமோனியாவினால் ஈரப்படுத்தப் பட்ட தோல், கம்பியில் தேய்க்கப்பட்டது. தோலைச் சோதனை செய்தபோது, அது கதிரியக்கத் தன்மை வாய்ந்ததாகக் காணப் பட்டது. கம்பியில் காணப்பட்ட கதிரியக்கம் நிலையானதாக

இல்லை; சில மணி நேரத்தில் மறைந்துவிட்டது. மேலும், கம்பி எப்பொருளால் செய்யப்பட்டதாயினும் ஒரே மாதிரி விளைவுகளே கிடைத்தன.

இச் சோதனைகள் முதலில் எல்ஸ்டர், கெய்டல் ஆகியோராலும், பின்னர் ரூதர்ஃபோர்டு, ஆலன் ஆகியோராலும் செய்யப்பட்டன. திறந்த வெளியில் வைக்கப்பட்ட, எதிர் மின்னூட்டமுடைய கம்பியில் கிடைத்த கதிரியக்கம் α கதிர்களால் உண்டானது. அவை 45 நிமிடங்களில் பாதி மதிப்புக்குச் சிதைவடைகின்றன. கம்பி செய்யப்பட்ட பொருளையோ, அல்லது, கம்பியின் மின்னழுத்தத்தையோ, அல்லது திறவையாக வைக்கப்பட்ட நேரத்தையோ பொறுத்துச் சிதைவு வீதம் அமைவதில்லை. எனவே, கம்பியில் சேகரிக்கப்பட்ட கதிரியக்கம், வளிமண்டலத்திலிருந்தே பெறப்பட்டிருக்க வேண்டும்.

இதனை பம்ஸ்டெட் (Bumsteadt) எனும் விஞ்ஞானி நிரூபித்தார். அவர், பூமிக்கு அருகில் திறந்த வெளியில் பல மணி நேரம் வைக்கப்பட்ட கம்பியிலிருந்து பெறப்படும் கதிரியக்கத்தின் சிதைவு வீதம், ரேடியத்தின் சிதைவு வீதத்திற்கு ஒத்திருப்பதை நிரூபித்தார். இச் சோதனைகளின் முடிவாக, வளிமண்டலத்தில் ரேடியம், தோரியம் ஆகியவற்றின் செயல் திறமுடைய சேமிப்பு (active deposit) இருப்பது தெரியவந்தது.

பம்ஸ்டெட்,நியூஹேவன் (Newhaven) நகரில், வளிமண்டலத் தோரியச் சேமிப்பினால் 30% கதிரியக்கம் இருப்பதாகவும், பிளாங்க் (Blanck) என்பவர் ரோமில் 70% இருப்பதாகவும், டபிள்யூ. வில்சன் என்பவர் மான்செஸ்டரில் 60% இருப்பதாகவும், ஆலன் என்பவர் பிட்ஸ்பர்க்கில் 60% இருப்பதாகவும் சோதனைகள் மூலம் கண்டனர். இதனால் உலகெங்கும் நிலப் பரப்புக்கு அருகிலுள்ள வளிமண்டலத்தில் ரேடியம், தோரியம் ஆகியவற்றால் கதிரியக்க வெளியீடு இருப்பது புலப்பட்டது. மேலும் சில ஆண்டுகள் கழித்து, ஆக்டினியம் வெளியீடுகளும் இருப்பது காணப்பட்டது. ஆக்டினியம் வெளியீடுகள் மிகமிக விரைவில் சிதைவடைவதால் அவற்றைக் காண்பது கடினமாக உள்ளது.

மழை

புதிதாகப் பெய்த மழை நீரில் கதிரியக்கம் இருப்பதை சி. டி. ஆர். வில்சன் கண்டுபிடித்தார். புதிதாக வீழ்ந்த பனியில் கதிரியக்கம் இருப்பதை ஆலன், மெக்லெனன் (McLennan) ஆகி

யோர் கண்டுபிடித்தனர். இவற்றின் கதிரியக்கம் 30 நிமிடங்களில் பாதி மதிப்புக் குறைந்து, சில மணி நேரங்களில் மறைந்துவிடுகிறது. மழை, பனி ஆகியவை விழும்போது அவற்றின் துளிகள் ரேடிய சேமிப்புள்ள காற்றின் வழியே வருவதாலேயே அவற்றில் கதிரியக்கம் காணப்படுகிறது.

வானிலை விளைவுகள்

வளிமண்டலத்திலிருந்து பெறப்படும் கதிரியக்கத்தால் வானிலை எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது என்பதுபற்றி எல்ஸ்டரும் கெய்டலும் ஆய்வுகள் நிகழ்த்தினர். எல்லா இடங்களுக்கும் தூக்கிச் செல்லத்தக்க கருவி ஒன்று இதற்காக அமைக்கப் பட்டது. எப்பொழுதும் ஒரே மின்னழுத்தமும் நிலையான விட்டமுமுடைய ஒரு கம்பியால் கதிரியக்கப் பொருள் சேகரிக்கப் பட்டது. பின்னர், கம்பியிலுள்ள இயக்கம் மின்காட்டியினால் அளக்கப்பட்டது. பல்வேறு சூழ்நிலைகளில் சோதனைகள் நிகழ்த்தப்பட்டுப் பல்வேறு முடிவுகள் கிடைத்தன. வெப்ப நிலை குறையும்போது கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு அதிகரித்தது. இதேபோல அழுத்தம் குறையும்போதும் கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு அதிகரித்தது. இந்த அளவு, மூடுபனியின் போது மிகவும் அதிகமாக இருந்தது. கதிரியக்கப் பொருளின் அளவுக்கும், காற்றில் அயனியாக்கத்திற்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட தொடர்பு இருக்க வேண்டும்; எனினும், இத் தொடர்பைக் கண்டுபிடித்து நிரூபிப்பது கடினம்.

நிலம், கடல்

உலகின் பல்வேறு இடங்களிலும் செய்யப்பட்ட சோதனைகளின் காரணமாக வளிமண்டலத்தின் எல்லா இடங்களிலும் ரேடியம் வெளியீடு இருப்பது காணப்பட்டது. தோரியம் வெளியீடு நிலத்திற்கு மேல் காணப்பட்ட போதிலும், கடலுக்கு மேல் பல இடங்களில் காணப்படவில்லை; சில இடங்களில் மிக மிகக் குறைவாகக் காணப்படுகிறது. எனவே, வளிமண்டலத்தில் காணப்படும் தோரியம் வெளியீடுகள் நிலத்திலிருந்து பெறப்பட்டவையாகவே இருக்கவேண்டும். ரேடியம் வெளியீடுகள் மிக நீண்ட நேரத்திற்குச் சிதைவடையாமல் இருப்பதால், அவை நிலத்திலிருந்து காற்றின் உதவியால் தூக்கிச் செல்லப்பட்டு வளிமண்டலத்தின் மிக உயர்ந்த இடங்களிலுங் கூடக் கலந்து காணப்படுகின்றன. அப்பொழுதும் அவற்றின் இயக்கம் பெருமளவில் குறைவதில்லை. ஃபிளம்மிங் (Flemming) பலூன்களின் உதவியால் 3000 மீட்டர் உயரத்திலும் கதிரியக்கம்

இருப்பதைக் கண்டார். நிலப்பரபபிற்கு அருகே காணப்பட்ட அதே அளவு, அந்த உயரத்திலும் கிடைத்தது. சாக்கே, கோக்கெல் (Saacke and Gockel) ஆகியோர் கடல் மட்டத்திற்கு அருகில் காணப்பட்டதைவிட, உயரமான இடங்களில் அதிக கதிரியக்கம் இருப்பதைக் கண்டனர். அதிக உயரமான இடங்களில் ரேடியம், தோரியம் வெளியீடுகள் அதிகம் இருக்க வேண்டும் என்ற கட்டாயம் ஏதுமில்லை. ஏனெனில், வெளியீடுகளின் அளவு, காற்றின் அழுத்தத்தையும், வளிமண்டலத்திலுள்ள தூசு போன்ற உட்கருக்களின் அளவையும் பொறுத்து மாறுபடும்.

நிலத்தில் இருப்பதைவிடக் கடல் நீரில் ரேடியம் குறைவாக இருப்பதால், கடலுக்கு மேல் உள்ள வளிமண்டலத்தில் ரேடியம் வெளியீடு குறைவாகவே இருக்கும் என எல்ஸ்டெர், கெய்டல், லிங்க் (Link), டைக் (Dike) ஆகியோர் தம் சோதனைகளின் மூலம் கண்டனர். ஆனால், ஈவ் (Eve), சிம்ப்சன் (Simpson), ரைட் (Wright) ஆகிய மூவரும் செய்த முறையான சோதனைகளின் காரணமாக மேற்கண்ட முடிவு சரியல்ல என்பது புலப்பட்டது. நிலத்தின்மீதுள்ள காற்று கதிரியக்க வெளியீடுகளுடன் கடலுக்கு மேல் செல்வதால், நிலத்தின்மீதும் கடலின் மீதும் ஒரே அளவுகள் கிடைக்கின்றன. வெளியீடுகளின் அளவு, நிலத்தின்மீதிருப்பதைவிட கடலின்மீது எல்லாப் பகுதிகளிலும் நிலையான அளவாக இருக்கிறது.

கதிரவன்

காற்றிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு கதிரவனைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை. இதுபற்றிய ஆய்வுகளை சிப்சன் நிகழ்த்தினர். நார்வேயிலுள்ள காரஸ்ஜோ (Karasjoh) என்னும் ஊரில், பனிக்காலத்தில் கதிரவன் அடிவானத்திற்கு மேல் வருவதில்லை. அப்படிப்பட்ட, கதிரவனே தெரியாத காலத்திலும், வேனிற்காலத்திலும் ஒரே மாதிரியான முடிவுகளே கிடைத்தன. மின்னூட்டம் பெற்ற கம்பியில் சேகரிக்கப்பட்ட கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு ஒரே மாதிரியாக இருந்தது. கதிரவனைப் பொறுத்து கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு மாறுவதில்லை என்ற கருத்தை எல்ஸ்டர், கெய்டல், ஆலன் ஆகியோரும் மெய்ப்பித்துள்ளனர்.

வெளியீட்டின் அளவு

வளிமண்டலத்தில் ஒரு கன மீட்டரில் உள்ள ரேடியம் வெளியீட்டின் சராசரி அளவைக் கண்டுபிடிக்கும் முயற்சி ஈவ் அவர்

களால் மேற்கொள்ளப்பட்டது. இதற்குத் தேங்காயின் கரி பயன்படுத்தப்பட்டது. பின்னர் பலரும் செய்த சோதனைகளின் முடிவாக, சராசரியாக ஒரு கனமீட்டரில் 83×10^{-12} கிராம் ரேடியம் இருப்பதாகக் கணக்கிடப்பட்டது. வளிமண்டலத்தில் இந்த அளவு வெளியீடு இருப்பதற்கு, ஒரு சதுர கிலோமீட்டர் நிலப் பரப்பில் சுமார் 1 கிராம் ரேடியம் இருக்கவேண்டும் எனத் தெரிகிறது. நிலத்தினுள்ளிருந்து மிகக் குறைந்த அளவு ரேடியந்தான் வெளிப்பட முடியுமாதலால், நிலத்தினுள் எவ்வளவு அதிக ரேடியம் இருக்கவேண்டும் எனத் தெரிகிறது.

நிலத்திலிருந்து ஊடுருவி வரும் கதிர்வீச்சு

யுரேனியமும் தோரியமும் நிலப்பரப்பில் அதிக அளவுக்குக் காணப்படுகின்றன. இவை இரண்டுமே ஊடுருவும் தன்மை வாய்ந்த காமாக் கதிர்களை வெளிவிடுவதால், நிலத்திற்கு அருகிலுள்ள வளி மண்டலத்தில் காமாக் கதிர்களும் கண்டுணரப் பட்டுள்ளன. வளி மண்டலத்தின் உயரே செல்லச் செல்ல இவற்றின் செறிவு குறைந்துவிடுகிறது.

நிலப்பரப்பில் ரேடியம் சீராகப் பகிர்வு செய்யப்பட்டுள்ளது. நிலப்பரப்பில் காணப்படும் காமாக் கதிர்களை வெளியிடுவதற்குத் தேவையான ரேடியத்தின் அளவைக் கீழ்க்கண்ட தொடர்பு மூலம் கணக்கிடலாம்.

$$N = \frac{KQ}{r^2 e^{\mu r}}$$

Q கிராம் அளவுள்ள ரேடியம் புள்ளித் தோற்றுவாயிலிருந்து (point source) வரும் γ கதிர்கள், காற்றில் ஒரு செகண்டில் ஒரு கன செ.மீ.க்கு உண்டாக்கும் அயனிகளின் எண்ணிக்கை N. அவை r செ.மீ. கனமுள்ள நிலத்தின் வழியாகச் செல்லுகின்றன. μ என்பது, உட்கவர் எண். K என்பது, மாறிலி ஆனால், உண்மையில் ரேடியம், புள்ளித் தோற்றுவாய்களாக இல்லை. அது நிலத்தில் சீராகப் பகிர்வு செய்யப்பட்டுள்ளது. எனவே, ஒரு க.செ.மீ. நிலத்திலுள்ள ரேடியத்தின் அளவை Q-வாகக்கொண்டு,

$$N = \frac{4\pi KQ}{\mu}$$

எனக் காட்டலாம். எனவே, நிலத்தின் மேற்பரப்பில் N-ன் மதிப்பு, இதில் சரிபாதியாக இருக்கும். அதாவது, நிலத்தின் மேற்பரப்பில்,

$$N = \frac{2\pi KQ}{\mu}$$

நிலத்தின் மேற்பரப்பில் பல்வேறு இடங்களில் செய்யப் பட்ட சோதனைகளிலிருந்து N-ன் மதிப்பு 3 எனவும், K யின் மதிப்பு 6×10^9 எனவும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இவற்றி லிருந்து ஒரு கிராம் நிலத்தில் 3×10^{-12} கிராம் ரேடியம் இருப்பது தெரியவருகிறது.

வளிமண்டலத்தில் அயனியாக்கம்

வெவ்வேறு இடங்களிலும் வெவ்வேறு வானிலைகளிலும் அயனியாக்கம் எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பது பற்றிய ஆய்வுகள் எல்ஸ்டர், கெய்டல் ஆகியோரால் துவக்கப்பட்டன. எபர்ட் (Ebert) என்பவர் இதற்காக ஒரு கருவியை உருவாக்கினார். விழும் எடையினால் இயக்கப்படும் ஒரு காற்றூடியால், ஒரே மைய முடைய இரு உருளைகளுக்கிடையில் காற்று இழுக்கப்படுகிறது. உள் உருளை காப்பிடப்பட்டு ஒரு மின்காட்டியுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. கருவியின் மின்தேக்குத் திறனும், காற்றின் திசை வேகமும் தெரிந்திருந்தால், மின்காட்டியில் உள்ள இலைகளின் இயக்க வீதத்தைக்கொண்டு ஒரு க.செ.மீ. காற்றில் உள்ள

அட்டவணை 12-I

காற்றிலுள்ள அயனிகள்

வகை	ஒரு க.செ.மீ.லுள்ள அயனிகள் எண்ணிக்கை	திசைவேகம் (செ.மீ./செகண்டு)
சிறியவை	0 முதல் 157	1·0 முதல் 1·8
நடுத்தரம்	200 முதல் 1000	1/15 முதல் 1/150
பெரியவை	600 முதல் 5500	$\frac{1}{1280}$ முதல் $\frac{1}{3370}$

அயனிகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம். இந்த எண்ணிக்கை, இடத்தைப் பொறுத்து, 1000-லிருந்து 2000 வரை மாறுபடுகிறது. போலோக் (Pollock) என்பவர் காற்றில் மூன்று விதமான அயனிகள் இருப்பதைக் கண்டார். அவற்றை அட்டவணை 12—I-ல் உள்ளவாறு தரப்படுத்தலாம்.

நிலத்திலும் வளிமண்டலத்திலும் உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களுக்கும், நிலத்திற்கு அருகிலுள்ள வளிமண்டலத்தில் உண்டாக்கப்படும் அயனியாக்கத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காண்பது முக்கியமானது. வளிமண்டலத்தில் உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களும் நிலத்திலிருந்து ஊடுருவி வரும் கதிர்வீச்சும், அயனியாக்க வீதத்திற்குக் காரணமானவை. காற்றிலுள்ள ரேடியம் வெளியீடுகளால் உண்டாக்கப்படும் அயனியாக்க வீதம் ஒரு க.செ.மீ.க்கு 1·7; தோரியத்தால் உண்டாக்கப்படும் அயனியாக்க வீதம் ஒரு க.செ.மீ.க்கு 1·0; நிலத்திலிருந்து ஊடுருவி வரும் காமாக் கதிர்களால் உண்டாக்கப்படும் அயனியாக்க வீதம் ஒரு க.செ.மீ.க்கு 3 முதல் 4 வரை உள்ளது. அயனிகள் உண்டாக்கப்படும் வீதம் q ஆகவும், ஒரு க.செ.மீ.க்கு சராசரி எண்ணிக்கை n ஆகவும், இருந்தால்,

$$q = \alpha n^2$$

α என்பது, அயனிகள் மீண்டும் ஒன்றுசேரும் எண்ணிக்கையின் மாறிலி. தூசு இல்லாத காற்றில் $\alpha = 3400\, e$, $q = 5$; எனவே, $n = 1800$. இந்த எண்ணிக்கை, சோதனைகளின் மூலம் மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

மண்ணின் கதிரியக்கம்

எல்ஸ்டர், கெய்டல், ஈபாட், ஈவர்ஸ் (Ewers) ஆகியோர் நிலத்திலிருந்து செறிவுமிக்க கதிர்வீச்சு வெளிப்படுகிறது என்றும் இந்த வெளியீடுகளின் சிதைவு வீதம் ரேடியத்தின் சிதைவு வீதத்திற்குச் சமமாக இருக்கிறது என்றும் கண்டனர். ஜே. ஜே. தாம்சன், ஆடம்ஸ் ஆகியோர் பூமிக்கு அடியிலுள்ள நீரில் ரேடியம் கலந்திருப்பதைக் கண்டனர். டாடௌரியன் (Dadourian) என்னும் விஞ்ஞானி நிலத்திற்கு அடியிலுள்ள காற்றில் தோரியம் வெளியீடுகள் இருப்பதைக் கண்டார். உலகின் பல்வேறு பகுதிகளிலும் நிலத்திற்கு அடியிலும், நீர் ஊற்றுகளிலும் கலந்திருக்கும் கதிரியக்க வெளியீடுகளின் சரியான அளவைக் கண்டுபிடிக்க ஆயிரக்கணக்கான ஆய்வுகள்

நடைபெற்றுள்ளன: அவற்றைச் சுருக்கமாகக்கூட இங்கு கூற இயலாது.

நிலவுலகின் புறத்தோட்டிலிருந்து வெளிப்படும் பொருள் வாயு வடிவிலிருந்தாலும், திரவ வடிவிலிருந்தாலும் அதில் ரேடியம் வெளியீடுகள் காணப்படுகின்றன. எரிமலையினால் ஏற்பட்ட ஆழமான குழிகளிலிருந்து எடுக்கப்பட்ட கார்பானிக் அமிலத்திலும், ஆழ்ந்த கிணறுகளிலிருந்து எடுக்கப்பட்ட பெட்ரோலியத்திலும் கதிரியக்க வெளியீடுகள் காணப்பட்டுள்ளன. கதிரியக்கப் பொருள்களின் சிதைவின் காரணமாகச் சில வெந்நீர் ஊற்றுகளில் ஹீலியம் காணப்பட்டது.

நிலத்தின் உள்வெப்பம்

நிலத்தின் உள்வெப்பத்திற்கும், கதிரியக்கத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காணலாம். நிலப்பரப்பின் ஒவ்வொரு கிராம் மண்ணிலும் சராசரியாக 2×10^{-12} கிராம் ரேடியமும், $1{\cdot}2 \times 10^{-5}$ கிராம் தோரியமும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒரு கிராம் யுரேனியத்தில் $3{\cdot}4 \times 10^{-7}$ கிராம் ரேடியம் இருப்பதால், நிலப் பரப்பின் ஒரு கிராம் மண்ணில் சராசரியாக $0{\cdot}6 \times 10^{-5}$ கிராம் யுரேனியம் இருப்பதாகக் கொள்வோம்.

கதிரியக்கச் சமநிலையில், ஒரு கிராம் யுரேனியம் ஒரு மணி நேரத்திற்கு $7{\cdot}7 \times 10^{-5}$ கலோரி என்ற வீதத்திலும், ஒரு கிராம் தோரியம் $2{\cdot}7 \times 10^{-5}$ கலோரி என்ற வீதத்திலும் வெப்பத்தை வெளிவிடுகின்றன. சராசரிப் பாறையின் அடர்த்தியை $2{\cdot}7$ எனக் கொண்டால், ஒரு க.செ.மீ. பாறையிலுள்ள யுரேனியத்தால் ஓர் ஆண்டுக்கு ரேடியத்தால் 11×10^{-6} கலோரியும், தோரியத்தால் 8×10^{-6} கலோரியும் வெப்ப விளைவு ஏற்படுகிறது. யுரேனியம், தோரியம் இரண்டும் இணைந்து மொத்தமாக ஒரு க.செ.மீ. பாறையில் ஓர் ஆண்டுக்கு $1{\cdot}9 \times 10^{-5}$ கலோரி வெப்ப விளைவு ஏற்படுத்துகின்றன. $0{\cdot}2$ வெப்ப எண்ணுடைய ஒரு பாறை, உண்டாக்கப்படும் வெப்பம் ஏதும் இழக்காவண்ணம் காப்பிடப்பட்டிருந்தால், ஒரு கோடி ஆண்டுகளில் அதன் வெப்ப நிலை 35°C அதிகரிக்கும்.

இனி, கடத்தல் (Conduction) காரணமாக நிலப்பரப்பில் ஏற்படும் வெப்பஇழப்பைப் பார்ப்போம். சராசரியாக ஒவ்வொரு 32 மீட்டருக்கும் 1°C வெப்ப நிலை அதிகரிக்கிறது. எனவே, நிலப் பரப்புக்கு அருகில் வெப்பநிலை வாட்டம் (temperature gradient)

ஒரு செ.மீ.க்கு 0·00031°C ஆக இருக்கிறது. நிலப்பரப்பின் ஒரு ச.செ.மீ. கடத்தல் காரணமாக, இழக்கும் வெப்பத்தின் அளவு:

$$Q = KT$$

என்ற தொடர்பு மூலம் காணப்படுகிறது. இதில் K என்பது, சராசரி கடத்தல் = 0·004; T என்பது, வெப்ப நிலை வாட்டம். எனவே, கடத்தல் காரணமாக 1·8 செ.மீ. நிலப்பரப்புக்கு ஓர் ஆண்டுக்குக் கிடைக்கும் வெப்பம் 39 கலோரி. ஒவ்வொரு க·செ. மீ. யுரேனியத்தாலும், தோரியத்தாலும் ஆண்டொன்றுக்கு உண்டாக்கப்படும் வெப்பம் $1·9 \times 10^{-5}$ கலோரியாக இருப்பதால், நிலப்பரப்பிலிருந்து தப்பிச் செல்லும் வெப்பத்தின் அளவு, 2×10^{6} செ.மீ. (அல்லது 20 கிலோ மீட்டர்) ஆழத்திற்குச் சீராகப் பரவியுள்ள கதிரியக்கப் பொருள் உண்டாக்கும் வெப்பத்திற்குச் சமமாகும். மேலும், நிலப்பரப்பின் வெப்பவாட்டம் மாறுமல் இருக்க வேண்டுமானல், கதிரியக்கப் பொருளின் சீரான பகிர்வு 20 கிலோ மீட்டர் ஆழத்திற்குமேல் இருக்க முடியாது. இந்தக் கணக்கீட்டில், யுரேனியம், தோரியம் ஆகியவை படிப்படியாக மாறும்போது வெப்ப உற்பத்தி குறைவதைக் கணக்கில் சேர்க்க வில்லை. பாதி யுரேனியம் மாறுவதற்கு 5×10^{9} ஆண்டுகள் ஆகும் ; பாதி தோரியம் மாற $1·3 \times 10^{10}$ ஆண்டுகள் ஆகும். எனவே, 100 கோடி ஆண்டுகளில் வெப்ப உற்பத்தி வெகுவாகக் குறையாது.

நிலப்பரப்பில் உள்ளதைப் போல, நிலத்தின் முழு கன அளவிலும், ரேடியம் சீராகப் பகிர்வு செய்யப்பட்டிருந்தால், உற்பத்தி செய்யப்படும் வெப்பத்தின் அளவு 200 மடங்கு அதிகமாக இருக்கும்; பூமியும் சூடாகிக்கொண்டே போகும். ஆனல், உண்மை நிலை அப்படி அல்ல என்பது நமக்குத் தெரியும். இதற்கு ஸ்ட்ரட் (Strutt) என்பவர் ஒரு விளக்கம் கொடுத்தார். அதன்படி, நிலப்பரப்பிற்கு அருகில் உள்ள ஓட்டில் மட்டுந்தான் கதிரியக்கப் பொருள்கள் உள்ளன. நிலத்தின் தற்போதைய வெப்ப நிலை மாறுமலிருக்க, கதிரியக்கப் பொருள்கள் சீராகப் பகிர்வு செய்யப்பட்டுள்ள இந்த ஓட்டின் ஆழம் 20 கிலோ மீட்டருக்கு மேல் இருக்க முடியாது.

மேற்கண்ட கருத்துகளின் அடிப்படையில், நிலப்பரப்பி லிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட ஆழத்தில் (x), வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடலாம். சுமார் 20 கிலோமீட்டர் (D) ஆழத்திற்கு மேல் கதிரியக்கப் பொருள்கள் இல்லை என்றும், உள் மையப் பகுதி வெப்பச் சமநிலையில் உள்ளது என்றும் கொள்ளப்படுகிறது.

நிலப்பரப்பிற்கு வெளியே வெப்ப நிலை 0°C எனக்கொண்டு, ஒரு குறிப்பிட்ட ஆழமான x-ல், வெப்ப நிலை

$$\theta = \frac{hx}{K}\left(D - \frac{x}{2}\right)$$

இதில் h என்பது, ஒரு செகண்டில் ஓரலகு கன அளவில் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட வெப்பம்; K என்பது, கடத்தல் எண். ஆழம் D-யாக இருக்கும்போது வெப்ப நிலை

$$\theta = \frac{hD^2}{2K}.$$

இதில் $D = 2 \times 10^{-6}$ செ.மீ.; $h = 6 \times 10^{-13}$ கலோரி/க.செ.மீ./செகண்டு; $K = 0{\cdot}004$ என்ற மதிப்புகளைக் கொடுத்துக் கணக்கிட்டால் வெப்ப நிலை $\theta = 300$°C என்ற விடை கிடைக்கிறது. ஆனால், இந்த விடை உண்மை நிலையோடு பொருந்துவதில்லை. ஏனெனில், உண்மையில் நிலப்பரப்புக்குக் கீழே 1300°C வெப்ப நிலை நிலவுகிறது. எனவே, இவ்வளவு அதிக வெப்ப நிலை நிலவுமளவிற்குக் கதிரியக்கப் பொருள்கள் எவ்வாறு பகிர்வு செய்யப் பட்டுள்ளன என ஆராய்வது அவசியமாகிவிட்டது.

கடத்தலினால் இழக்கப்படும் வெப்பத்தை, D கனமுள்ள நிலத்தில் உண்டாக்கப்படும் வெப்பம் சரிசெய்யுமானால்

$$Dh = KT$$

மேலும், பெரும வெப்ப நிலை

$$\theta = \frac{hD^2}{2K} = \frac{KT^2}{2h}$$

மேற்கண்ட தொடர்பிலிருந்து, கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு அதிகரிக்கும்போது, அதாவது h-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும் போது, நிலத்தினுள் உள்ள பெரும வெப்ப நிலை குறைகிறது எனத் தெரிகிறது. இது முதலில் நம்பமுடியாததாகத் தோன்றினாலும், நாம் கையாண்ட தற்கோள்களின்படி (assumption) இதுவே உண்மை. இதுவரை கிடைத்துள்ள தகவல்களின்படி K, T ஆகியவற்றிற்கு நாம் எடுத்துக்கொண்ட மதிப்புகள் மாற வழியேதுமில்லை. கதிரியக்கப் பொருள் சீராகப் பகிர்வு செய்யப்

படாமல், ஆழமாக ஆகக் குறைந்துகொண்டே போகுமானால் θ-வின் மதிப்பு அதிகரிக்கும். உதாரணமாகக் கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு, ஆழத்திற்கேற்ப

$$\frac{h}{h_0} = e^{-\frac{x}{D}}$$

என்ற சமன்பாட்டுப்படி e-ன் மடியாகக் குறையுமானால் பெரும வெப்ப நிலை

$$\theta = \frac{KT^2}{h}$$

அதாவது, சீரான பகிர்வில் கிடைத்ததைப் போல இரண்டு மடங்கு வெப்பநிலை கிடைக்கும். தற்போது கிடைத்துள்ள புள்ளிவிவரங்களின்படி இதனையே உண்மை எனக் கொள்ள வேண்டும். ஏனெனில், நிலவுலகம் தற்போதைய வெப்பஅளவை நிலைநிறுத்த, கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு ஆழத்திற்கேற்பக் குறைந்துகொண்டே செல்கிறது. நிலத்தின் கன அளவு முழுவதிலும் பரவியுள்ள கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு, அது எவ்வளவு குறைவாக இருப்பினும், அதுவே உள் மையத்தின் உயர்ந்த வெப்பநிலைக்குக் காரணமாகும்.

13. படித்தரப்படுத்தும் முறைகள்

ஒரு கதிரியக்கத் தோற்றுவாயைப் படித்தரப்படுத்துவது (standardization) என்பது அதன் சிதைவு வீதத்தைத் தீர்மானிப்பதையே குறிக்கும். **கதிரியக்கக் கரைசல்களில் சிதைவு வீதம் என்பது, ஒரு கிராம் கரைசலில் ஒரு செகண்டில் ஏற்படும் சிதைவுகளின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும்.**

கதிரியக்கக் கரைசலைப் படித்தரப்படுத்துவதற்கான நேரடியான முறையில் தோற்றுவாயை வைப்பதற்கான சூழமைப்பில் (Mount), நிறுக்கப்பட்ட அளவு கரைசல் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டு ஈரப்பதம் நீங்கும்வரை ஆவியாக்கப்படுகிறது. பின்னர் இது தோற்றுவாயோடு ஏற்படுத்தும் திண்மக் கோணத்தைக் (solid angle) கொண்டு ஏதாவது ஒரு கணிப்பானால் அளக்கப்படுகிறது. சிதைவு வீதம் N_0 கீழ்க்காணும் தொடர்மூலம் கணக்கிடப்படுகிறது.

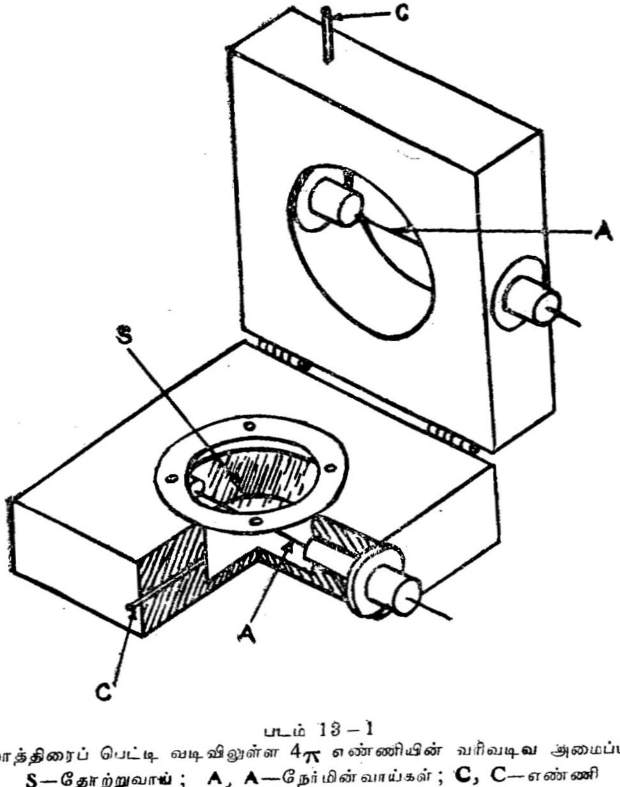
$$N_0 = N_{obs} \frac{4\pi}{\Omega} \frac{1}{D} \frac{1}{1-A_{self}} f^{(si)} - N_{bg}.$$

இதில் N_{obs} என்பது, பதிவு செய்யப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதம்.

- Ω என்பது, திண்மக் கோணம்.
- D என்பது, குறிப்பிட்ட ரேடியோ நியூக்ளைடைக் கண்டுணர்வதற்கான கருவியின் திறமை.
- A_{self} என்பது, தோற்றுவாயால் முழுமையாக உட்கவரப்படும் கதிர்வீச்சின் அளவைக் குறிக்கும் உட்கவர்எண்.
- $f^{(si)}$ என்பது, சிதறல்களால் ஏற்படும் விளைவுகளைத் திருத்தும் எண். இதில், (i) தோற்றுவாய் வைக்கப்பட்டுள்ள சூழமைப்பினால் ஏற்படும் பின்சிதறல்களும் (back scattering), (ii) சுற்றுப்புறத்தினால் ஏற்படும் சிதறல்களும், (iii) தோற்றுவாயின் நிறையினால் ஏற்படும் சிதறல்களும் அடங்கும்.

N_{bg} என்பது, காஸ்மிக் கதிர்வீச்சினாலும், சோதனைச் சாலையிலுள்ள கட்டுமானப் பொருள்களிலுள்ள இயற்கையான கதிரியக்கத் தன்மையுடைய பொருள்களின் கதிர்வீச்சினாலும் ஏற்படும் எண்ணிக்கை வீதத்தைக் குறிக்கிறது.

இதிலிருந்து பதிவு செய்யப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதத்தில் நிறையத் திருத்தங்கள் செய்ய வேண்டும் எனத் தெரிகிறது. இவற்றில் சில திருத்தங்களுக்கான அளவுகளை மிகத் துல்லிய



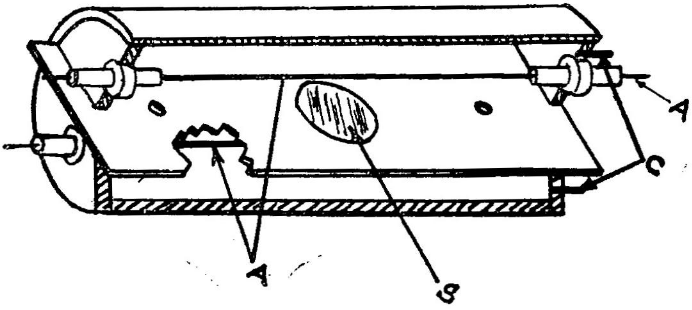
படம் 13–1
மாத்திரைப் பெட்டி வடிவிலுள்ள 4π எண்ணியின் வரிவடிவ அமைப்பு
S—தோற்றுவாய்; A, A—நேர்மின்வாய்கள்; C, C—எண்ணி வாயுவின் நுழைவாய்கள்.

மாகக் கணக்கிடுவது மிகக் கடினமானது. மின்னூட்டத் துகள் வெளிவிடு கருவிகளில் '4π எண்ணிக்கை முறை' மூலம் இத் திருத்தங்களை ஓரளவுக்குக் குறைத்து எளிமைப்படுத்தலாம்.

4π எண்ணிக்கை முறை

α மற்றும் β துகள்களை வெளிவிடும் நியூக்ளைடுகளைப் படித்தரப்படுத்த ' 4π எண்ணிக்கை முறை' (4π counting) பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இம் முறையில் தோற்றுவாய்ச் சூழமைப்பாக, அங்ககப் பிளாஸ்டிக்கினால் செய்யப்பட்ட மிகமிக மெல்லிய ஏடு பயன்படுத்தப்படுகிறது. இரண்டு கண்டுணர் கருவிகளைக்கொண்ட எண்ணியில் இத் தோற்றுவாய் வைக்கப்படுகிறது. இக் கண்டுணர் கருவிகள் ஒவ்வொன்றும் தோற்றுவாயில் 2π ஸ்டெரேடியன் (steradian) அளவு கொண்ட திண்மக் கோணத்தை எதிர்கொள்கின்றன (subtend). எனவேதான், 4π என்ற பெயர் ஏற்பட்டுள்ளது. கண்டுணர் கருவியில் கோள வடிவிலோ, உருளை வடிவிலோ, மாத்திரைப் பெட்டி (pill box) வடிவிலோ இருக்கும். மாத்திரைப் பெட்டி வடிவ எண்ணியின் அமைப்பு படம் 13-1-லும், உருளை வடிவ எண்ணியின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் படம் 13-2-லும், கோள வடிவ எண்ணியின் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றம் படம் 13-3-லும் காட்டப்பட்டுள்ளன.

இந்த எண்ணிகள் விகித அல்லது கைகர் பகுதியில் செயற்படுபவை. நன்கு அமைக்கப்பட்ட 4π எண்ணியின் திறமை 100 சதவீதமாகும். எண்ணியின் எதிர்மின்வாயின் ஒரு பகுதி



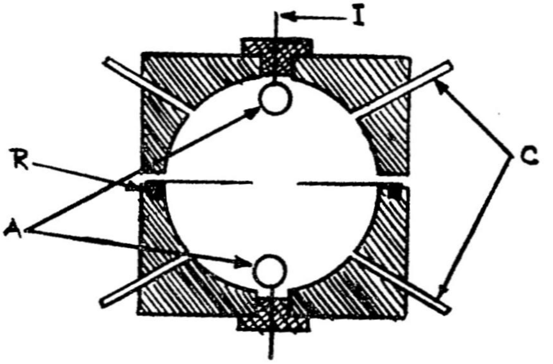
படம் 13—2

உருளை வடிவ 4π எண்ணியின் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றம்
S—தோற்றுவாய்; A, A—நேர்மின்வாய்கள்; C—எண்ணி வாயுவின் நுழைவாய்கள்

யாகத் தோற்றுவாய்ச் சூழமைப்பு விளங்குவதால், தோற்றுவாயில் தேவையான அளவு நிலைமின்புல வலிமை தரத்தக்க அளவுக்கு அது மின்கடத்தும் தன்மையுடையதாக இருக்க

வேண்டும். மேலும். அந்த மின்னூட்டம் நிகழ்வதையும் தடுக்க வேண்டும். இல்லையெனில் மிகக் குறைந்த ஆற்றலுடைய β துகள்களைக் கண்டுணர முடியாது.

தோற்றுவாய்ச் சூழமைப்புகள் சாதாரணமாக அங்ககப் பிளாஸ்டிக்குகளால் செய்யப்பட்டிருக்கும். இவை மிக மெல்லியனவாகவும் இருக்கும். இவற்றின் தடிமனை நீள அளவுகளால் குறிப்பிடாமல், நிறை/செ.மீ.^{2} என்ற அளவுகளில் குறிப்பிடுவதே வழக்கம். இவை சாதாரணமாக 5 முதல் 15 மைக்ரோ கிராம்/செ.மீ.^{2} தடிமனுள்ளவையாக இருக்கும். இவற்றின் பரப்பின்மீது பொருத்தமான உலோகத்தை வெற்றிட ஆவியாதல் முறையில் படியச் செய்து இவை மின்கடத்தும் தன்மை



படம் 13—3

கோள வடிவிலுள்ள 4π எண்ணியின் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றம்
I—காப்பான்; R—வளையம்; A—நேர்மின்வாய்கள்; C—எண்ணி வாயுவின் நுழைவாய்கள்.

பெறச் செய்யப்படுகின்றன. எளிதில் ஆவியாவதாலும், பல இரசாயனப் பொருள்களால் பாதிக்கப்படாமலிருப்பதாலும், தங்கம் சாதாரணமாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. 15 முதல் 25 மைக்ரோ கிராம்/செ.மீ.^{2} அளவு உலோகப்பூச்சு செய்யப்படுகிறது. மற்றொரு எளிய முறையும் உள்ளது. முதலில் தோற்றுவாய் பிளாஸ்டிக் ஏடுமீது வைக்கப்படுகிறது. பின்னர் அது 200 மைக்ரோ கிராம்/செ.மீ.^{2} தடிமனுள்ள அலுமினிய இலையால் மூடப்படுகிறது. இது தங்கப் பூச்சைவிட அதிகக் கனமானது. எனவே, பதிவு செய்யப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதங்களில் நிறையத் திருத்தங்கள் செய்யவேண்டும்.

எக்ஸ் கதிர்களையும், ஆகர் எலெக்ட்ரான்களையும் (Auger Electrons) வெளிவிடும் நியூக்ளைடுகளைப் படித்தரப்படுத்த கோள வடிவ 4π எண்ணி பயன்படுகிறது. எக்ஸ் கதிர்களின் ஆற்றல் குறைவாக இருந்தால் எண்ணி-வாயுவின் (எண்ணியில் பயன் படுத்தப்படும் வாயுவின்) அழுத்தத்திலேயே எண்ணியைச் செயற் படச் செய்யலாம். இதனால் எல்லா எக்ஸ் கதிர்களும் எண்ணி யாலேயே உட்கவரப்பட்டுவிடும். அதிக ஆற்றலுள்ள எக்ஸ் கதிர்களை வெளிவிடும் நியூக்ளைடுகளைப் படித்தரப்படுத்த, எண்ணி தொடர் அழுத்தங்களில் (series of pressure) செயல் படுத்தப்படுகிறது. வாயு அழுத்தம், நிறை ஆகியவை அதிகரிக்கும்போது, எக்ஸ் கதிர்கள் உட்கவரப்படுவதும் e-ன் மடியாக அதிகரிக்கிறது. எனவே, எண்ணிக்கை வீதங்களின் லாகரிதமும், அழுத்தத்தின் தலைகீழ் அளவும் (reciprocal) வரை படத்தில் குறிக்கப்படுகின்றன. எல்லா எக்ஸ் கதிர்களும் உட் கவரப்படும் முடிவிலா அழுத்தத்தில் (infinite pressure), எண்ணிக்கை வீதத்தை வரைபடத்தின் மூலம் கணக்கிடலாம்.

பீட்டா நிறமாலையில் குறைந்த ஆற்றலுடைய எலெக்ட் ரான்களை, தோற்றுவாய் தானே உட்கவருவதைக் குறைக்க, தோற்றுவாயில் உலோகங்களை இயன்ற அளவுக்குக் குறைக்க வேண்டும். இதற்குச் சாதாரண ஆவியாதலை மட்டும் நம்பியிருக்க முடியாது. ஏனெனில், இதனால் பெரிய படிகங்கள் உருவாகக் கூடும். வேறு பல முறைகள் உள்ளன. ஆவியாதலுக்கு முன்னர், கரைசலிலிருந்து பொருளை இரசாயன முறையில் வீழ் படிவாகச் செய்தல் ஒரு முறையாகும். மற்றொரு முறையில், கரைசலில் சிறிதளவு கூழ் சிலிகா (colloid silica) சேர்க்கப்படு கிறது. இதனால் மிக நுண்ணிய படிகங்கள் உருவாகின்றன.

4πβ சுடர் எண்ணி

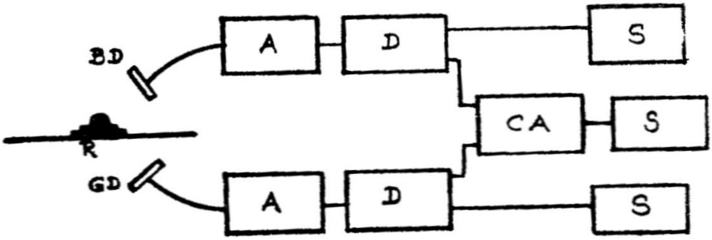
4πβ எண்ணிக்கை வீதத்தை, படிகச் சுடர்க் கணிப்பு முறையில் 4πβ சுடர் எண்ணியைக் (4πβ scintillation counter) கொண்டு கணக்கிடலாம். இம் முறையில் இரண்டு அன்த்ராசின் (anthrancene) படிகங்களுக்கு இடையில் தோற்று வாய் வைக்கப்படுகிறது. இது பின்னர் இரண்டு ஒளிமின் குழாய்களுக்கு நடுவில் வைக்கப்படுகிறது. இம் முறையில் ஃபாஸ்பரஸ்—32, தாலியம்—204 (Thallium-204) ஆகியவற்றுக்கு நல்ல முடிவுகள் கிடைத்துள்ளன. அன்த்ராசீனுக்குப் பதில் வேறு பொருள்கள் பயன்படுத்தப்பட்டால், அவை விலை குறைவானவையாகவும், கையாளுவதற்கு எளிதானவையாகவும் இருந்தபோதிலும், அவற்றின் இயக்குதிறம் (efficiency)

60 சதவீதமே உள்ளது. β கதிர்களால் ஃபாஸ்பரில் சேகரிக்கப்படும் ஆற்றல் அளவுகளுக்கு அன்த்ராசீனின் ஒளி வெளியீடு அதிகமாகவே உள்ளது.

β - γ ஒருங்குநிகழ்வு கணிப்பு

தொடர்நிறமாலையின் குறைந்த ஆற்றல் பகுதியிலுள்ள β துகள்களை எண்ணிகளின் தோற்றுவாய்கள் தாமே உட்கவருவதால், 4πβ எண்ணிக்கை முறையில் நிச்சயமான முடிவுகளைப் பெற முடிவதில்லை. β துகள்களுடன் ஒன்று அல்லது அதிகமான γ கதிர்கள் ஒருங்கே வெளிப்படும்போது, உட்கவர்தலால் ஏற்படும் எண்ணிக்கை இழப்பிற்கும் எண்ணியின் திறன் குறைவிற்குமான திருத்தங்களை 'β—γ ஒருங்கு நிகழ்வு கணிப்பு முறை' (β γ coincidence counting) மூலம் தீர்மானிக்கலாம்.

படம் 13–4-ல் ஒரு β கண்டுணர் கருவியும், ஒரு γ கண்டுணர் கருவியும் நியோபியம்—95 (niobium—95) மாதிரியைப் பார்த்துக்கொண்டிருக்கின்றன. இந்த நியோபியம்—95 குறைந்த ஆற்றலுள்ள β கதிரையும் ($F_{\beta max}$ ~ 160 kev) உடனே தொடர்ந்து (10^{-6} செகண்டுக்கும் குறைவான நேரத்திற்குள்) 764 kev γ கதிரையும் வெளிப்படுத்துகிறது. ஒரு β துகள்



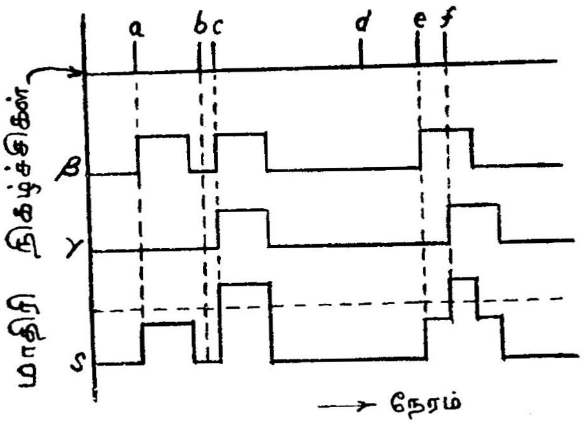
படம். 13—4

β—γ ஒருங்குநிகழ்வு கணிப்பு முறையின் அமைப்பை விளக்கும் படம்
R—கதிரியக்க மாதிரிப்பொருள் ; BD—β கண்டுணர் கருவி ;
GD—γ கண்டுணர் கருவி ; A, A—பெருக்கிகள் ; D, D—பாகுபடுத்திகள் (discriminatos) ; S—அளவிடும் கருவி ; CA – ஒருங்குநிகழ்வு பகுப்பான்.

அல்லது ஒரு γ கதிர் (சேர்ந்தோ அல்லது தனித்தனியாகவோ) கண்டுணரப்படும் போதெல்லாம் β அல்லது γ கதிர் கண்டுணர் கருவியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள பாகங்களின் வழியே ஒருங்கு நிகழ்பகுப்பானுக்கு (coincidence analyser) ஒரு குறிப்பிட்ட உயரமும் அகலமும் உள்ள துடிப்பு (pulse) செலுத்தப்படுகிறது. இத் துடிப்புகள் 5 வோல்ட் உயரமும், 1 மைக்ரோ செகண்ட் அகலமும் கொண்டவை எனக் கொள்வோம்.

படம் 13—5-ல் காட்டப்பட்டுள்ள வரைபடத்தில், மாதிரி நிகழ்ச்சிகள் அச்சிலுள்ள குறுகிய கோடுகள் அணுக்கருக்களின் சிதைவைக் குறிக்கின்றன. β, γ அச்சுகளில் உள்ள துடிப்புகள், β, γ கண்டுணர் கருவிகளால் உண்டாக்கப்பட்ட துடிப்புகளையும், *S* அச்சு ஒருங்குநிகழ்வு பகுப்பானில் உண்டாக்கப்பட்ட β, γ துடிப்புகளின் கூட்டுத் தொகையையும் குறிக்கின்றன. *a, b, c, d, e, f* என்பவை நிகழ்ச்சிகளைக் குறிக்கின்றன. இவற்றைத் தனித்தனியே பார்ப்போம்.

நிகழ்ச்சி *a* : β பகுப்பானுல் கண்டுணரப்பட்டது. γ பகுப்பானுல் கண்டுணரப்படவில்லை. எனவே, *S* அச்சிலுள்ள துடிப்பின் கூட்டளவு, β அச்சிலுள்ளதை ஒத்திருக்கிறது.



படம் 13–5

β—γ ஒருங்குநிகழ்வு கணிப்பு முறையில் துடிப்புகளின் வரைபடம்

நிகழ்ச்சி *b* : இரண்டு பகுப்பான்களாலும் கண்டுணரப்படவில்லை.

நிகழ்ச்சி *c* : இரண்டு பகுப்பான்களாலும் காணப்பட்டது. எனவே, *S* அச்சில் இருமடங்கு துடிப்பு உயரம் காணப்படுகிறது. இங்கு உண்மையான ஒருங்குநிகழ்வு பதிவு செய்யப்பட்டுள்ளது.

நிகழ்ச்சி *d* : *b*-யைப் போலவே இந்நிகழ்ச்சியும் கண்டுணரப்படவில்லை.

நிகழ்ச்சி e: β பகுப்பானல் மட்டுமே காணப்பட்டது.

நிகழ்ச்சி f: e-க்கு அரை மைக்ரோ செகண்டிற்குப் பிறகு நிகழ்கிறது. இது β பகுப்பானல் காணப்படவில்லை. ஆனல், γ பகுப்பானல் காணப்படுகிறது. எனவே, இவற்றின் கூட்டளவு S-ல் காணப்படுகிறது. இதில் ஒரு பகுதி 7 வோல்ட் வரம்பைக் கடந்துவிட்டதால், ஒருங்குநிகழ்வு மீண்டும் பதிவு செய்யப்படுகிறது. இத்தகைய ஒருங்குநிகழ்வு 'தற்செயல் ஒருங்குநிகழ்வு' (accidental coincidence) எனப்படுகிறது. இது நிகழும் வீதத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

β, γ பகுதிகளின் எண்ணிக்கை வீதங்கள் முறையே n_β, n_γ எனக் கொள்வோம். ஒருங்குநிகழ்வு பகுப்பானில் ஒரு β துடிப்பு வரும்போதெல்லாம், கலப்பி (mixer) ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவேளைக்கு வேறு துடிப்புகளையும் ஏற்கும் தன்மையுடன் இருக்கும். இக் கால இடைவேளையை T_r எனக் கொள்வோம். இதற்குள் ஒரு γ துடிப்பு வரும். எனவே, ஒவ்வொரு செகண்டிலும் n_β, T_r காலத்திற்குக் கலப்பி ஏற்புத் தன்மையுடன் (reception) இருக்கும். இந்த நேரத்திற்குள் நிகழும் ஒருங்குநிகழ்வுகளின் எண்ணிக்கை $= n_\gamma\ (n_\beta T_r)$ இதேபோல, β துடிப்புகள் வருவதற்கு முன்னர், கலப்பிக்கு $(n_\beta T_r n_\gamma)$ γ துடிப்புகள் வரும். ஆகவே, தற்செயல் ஒருங்குநிகழ்வுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை மேற்கூறிய இரண்டின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். தற்செயல் ஒருங்குநிகழ்வுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை,

$$n_{acc} = 2\, T_r\, n_\beta\, n_\gamma \qquad \text{.... (1)}$$

கதிரியக்க மாதிரியின் உண்மையான சிதைவு வீதம் N_0 ஆகவும், β, γ கண்டுணர் கருவிகளின் திறன் ϵ_β, ϵ_γ ஆகவும் கொள்வோம். எனவே, β, γ பகுதிகளில் பதிவுசெய்யப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதம் n_β, n_γ -வாக இருந்தால்,

$$n_\beta = N_0\, \epsilon_\beta \qquad \text{.... (2)}$$

$$n_\gamma = N_0\, \epsilon_\gamma \qquad \text{.... (3)}$$

β பகுதியில் $N_0 \epsilon_\beta$ எண்ணிக்கை பதிவு செய்யப்படும் ஒவ்வோர் ஓரலகு நேரத்திலும், γ பகுதியில் ஒரு γ எண்ணிக்கை ஏற்பட ϵ_γ வாய்ப்பு உள்ளது. எனவே, ஓரலகு நேரத்தில் ஏற்படக்கூடிய உண்மையான ஒருங்குநிகழ்வுகளின் எண்ணிக்கை,

$$n_c = N_0 \epsilon_\beta \epsilon_\gamma \quad .... \quad (4)$$

சமன்பாடு (2)-ஐ (3) ஆல் பெருக்கி, (4) ஆல் வகுத்தால்,

$$N_0 = \frac{n_\beta n_\gamma}{n_c} \quad .... \quad (5)$$

பதிவு செய்யப்பட்ட ஒருங்குநிகழ்வு வீதம் என்பதில், 'உண்மையான ஒருங்குநிகழ்வு' டன், 'தற்செயல் ஒருங்குநிகழ்வு'களும் சேர்ந்தே உள்ளன. (4) ஆவது சமன்பாட்டில் n_c 'உண்மை' யானவற்றை மட்டுமே குறிக்கிறது. எனவே, (5) ஆவது சமன்பாடு சரியாக இருப்பதற்குப் பதிவு செய்யப்பட்ட ஒருங்குநிகழ்வுகளிலிருந்து தற்செயலான ஒருங்குநிகழ்வுகளைக் கழிக்க வேண்டும்.

எனவே, $$N_0 = \frac{n_\beta n_\gamma}{(n_c)_{\text{பதிவானது}} - 2T_r n_\beta n_\gamma}$$

β, γ ஒருங்குநிகழ்வு வீதத்தைக் கணக்கிடும்போது, γ கதிர்களுக்கான உணர்வுநுட்பம் (sensitivity) குறைவாக β கண்டுணர் கருவியையும், β துகள்களுக்கான உணர்வுநுட்பம் β குறைவாக உள்ள γ கண்டுணர் கருவியையும் பயன்படுத்துவது நல்லது. எனவே, வாயு ஓட்டமுள்ள (gas-flow) விகித எண்ணிகள் β கண்டுணர் கருவிகளாகவும், NaI (Tl) சுடர் எண்ணிகள் γ கண்டுணர் கருவிகளாகவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மேற்கூறிய உதாரணத்தில், β துகள்களுக்கும் γ கதிர்களுக்கும் உள்ள உணர்வு நுட்பத்திற்கேற்ப n_β-வும், n_γ-வும் திருத்திக் கொள்ளப்பட வேண்டும்.

4 π β-γ ஒருங்கியல் எண்ணிக்கை முறை பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில், தற்செயல் ஒருங்கியல் நிகழ்வு வீதத் திருத்தம் சற்றுச் சிக்கலானது. ஆனாலும், இம் முறையில் சில மேலதிக நன்மைகள் உள்ளன.

முன்னர்க் கூறியபடி, உண்மையான ஒருங்கியல்நிகழ்வு களுக்கும், தற்செயல் ஒருங்குநிகழ்வுகளுக்கும் உள்ள விகிதம் அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும். (1) முதல் (4) வரை உள்ள சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$\frac{n_c}{n_{acc}} = \frac{N_0 \epsilon_\beta \epsilon_\gamma}{2T_r\, n_\beta\, n_\gamma}$$

$$= \frac{N_0 \epsilon_\beta \epsilon_\gamma}{2T_r N_0^2 \epsilon_\beta \epsilon_\gamma}$$

$$= \frac{1}{2\, T_r\, N_0}$$

ஆகையால், இந்த விகிதத்தை அதிகரிப்பதற்கு T_r அல்லது N_0 சிறியதாக்கப்பட வேண்டும். T_r-க்கு ஒரு குறிப்பிட்ட கடைசி எல்லை உண்டு. ஏனெனில், பல்வேறு கருவிகளிலிருந்தும் வரும் சைகைகளுக்கான (signal) நேரம் வேறுபடுகிறது. மேலும், சிதைவு வீதத்தைக் கணக்கிடும்போது ‘உண்மை’யான ஒருங்கியல் நிகழ்வுகள் ஏதும் விடுபட்டுப் போய்விடக் கூடாது. எனவே, T_r ஓரளவுக்கு மேல் அதிகமாகக் குறைக்கப்படக் கூடாது.

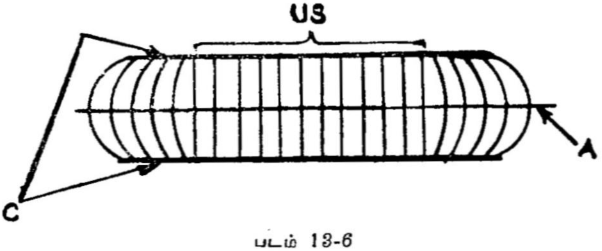
அக வாயு எண்ணி

முன்னரே கூறியபடி, குறைந்த ஆற்றலுள்ள β துகள்களை, $4\pi\beta$ எண்ணிகளின் தோற்றுவாய்கள் தாமே உட்கவருவதால், β துகள்களை வெளிவிடும் கதிரியக்கப் பொருள்களைப் படித்தரப் படுத்துவது கடினமாகிறது. இதனை நீக்க, கதிரியக்கப் பொருளை வாயு வடிவமாக்கி விகித எண்ணி அல்லது கைகர்-முல்லர் எண்ணியிலுள்ள வாயுவுடன் சேர்க்கப்படுகிறது. சல்ஃபர்—35, கார்பன்-14 ஆகிய ரேடியோ நியூக்ளைடுகள் இவ்விதம் படித்தரப் படுத்தப்படுகின்றன. வாயு வடிவிலுள்ள ரேடியோ நியூக்ளைடு களான ஹைட்ரஜன்—3, ஆர்கன்—37, கிரைப்டன்—85, செனன்—133 (Argon, Krypton, Xenon) ஆகியவற்றுக்கும் இம் முறை பொருந்தும்.

இதற்காகப் பயன்படுத்தப்படும் எண்ணிகள் உருளைவடிவில் உள்ளன. இவற்றின் நீளம் அதிகமாகவும் விட்டம் குறைவாகவும் உள்ளது. அப்பொழுதுதான் எண்ணியின் நீளப் பகுதியில் ஓரளவுக்குச் சீரான நிலைமின்புலம் இருக்கும்.

அக வாயுக் கணிப்பு முறை (internal gas counting) மூலம் ஒரு மாதிரியைப் படித்தரப்படுத்தும்போது, ஒரு வாயுவின் செயலுறு பருமனுக்கான (effective volume) சிதைவு விதமாக முடிவு கிடைக்கிறது. வாயுவின் வெப்ப நிலையும் அழுத்தமும் எளிதில் அளக்கப்படுகின்றன. ஆனால், செயலுறு பருமன், உருளை வடிவ எண்ணியின் இயற்பியற் பருமனுடன் (Physical volume) தொடர்பு கொண்டிருப்பதில்லை. கணிப்பானின் உணர்வுநுட்பம் அதன் முழு நீளத்திலும் சீராக இருப்பதில்லை. மின்புலச் செறிவு குறைவதால், உணர்வுநுட்பமும் அதன் கடைசிப் பகுதிகளில் குறைந்துவிடுகிறது. அகவாயு எண்ணியில், உருளைவடிவ மின்வாய்களுக்கிடையில் நிலைமின் விசைக்கோடுகளின் பகிர்வு படம் 13-6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில், வெவ்வேறான நீளங்களும் ஒரே மாதிரியான குறுக்குவெட்டுப் பரிமாணமும் உடைய இரு கணிப்பான்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒரே மாதிரியான வெப்பநிலையும் அழுத்தமும் கொண்ட ஒரே வாயுவை நிரப்பி



படம் 13-6

அகவாயு எண்ணியில் உருளைவடிவ மின்வாய்களுக்கு இடையில் நிலைமின் விசைக்கோடுகளின் பகிர்வு

A—நேர்மின்வாய்; C—எதிர்மின்வாய்;
US—சீரான உணர்வுநுட்பமுள்ள பகுதி.

எண்ணிக்கை வீதங்கள் கணக்கிடப்படுகின்றன. இரண்டு கணிப்பான்களின் ஓரங்களிலும் நிலைமின்புலச் செறிவு சமமாகவும், இரண்டின் மையப்பகுதிகளிலும் புலவலிமை

(field strength) சமமாகவும் சீராகவும் இருக்கும்போது, இரண்டு கணிப்பான்களும் ஈடு செய்யப்பட்டனவாகக் (compensated) கருதப்படுகின்றன. இவ்வாறு இருக்கும்போது, அதிக நீளமுள்ள கணிப்பானின் எண்ணிக்கை வீதத்திலிருந்து, குறைந்த நீளமுள்ள கணிப்பானின் எண்ணிக்கை வீதத்தைக் கழித்தால், முனைவிளைவுகள் அடிபட்டுப்போய் (cancel), இரண்டு கணிப்பான்களின் இயற்பியற் பரிமாணங்களின் வேறுபாட்டுக்குச் சமமான வாயுப் பருமனின் எண்ணிக்கை வீதம் கிடைக்கிறது. வாயுவின் வெப்பநிலையும் அழுத்தமும் தெரிந்திருந்தால், ஒரு கிராம் மூலக்கூறுக்கான சிதைவு வீதத்தைக் கணக்கிடலாம்.

வாயுக் கணிப்புக்கான மற்றொரு முறையில், காப்பு (guard) மின்வாய்களை உடைய ஒரே கணிப்பான் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதனால் எண்ணியின் முழு நீளத்திலும் சீரான மின்புலம் கிடைக்கிறது. இன்னொரு முறையில், ஒரு கணிப்பானின் ஒரு முனையில், நகர்த்தக்கூடிய பிஸ்டன் (ஊடியங்கு உருளை) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனைக்கொண்டு, நீளத்தைப் பொறுத்து எண்ணிக்கை வீதத்தைக் கணக்கிடலாம். இது கிட்டத்தட்ட, வெவ்வேறான நீளமும் ஒரே குறுக்குவெட்டுப் பரப்பும் கொண்ட இரண்டு அல்லது மேற்பட்ட கணிப்பான்களைக்கொண்டு ஈடு செய்யும் முறைக்குச் சமமாகும்.

'சுவர் விளைவு' (wall effect) என்பதனால் ஏற்படக்கூடிய திருத்தங்களையும் இக் கணக்கீட்டில் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். β துகள்கள் எதிர்மின்வாயில் பட்டு, தேவையான அளவு அயனி இரட்டைகளை உருவாக்காததால், கண்டுணரத்தக்க துடிப்பு கிடைப்பதில்லை. இதுவே 'சுவர் விளைவு'. இது β துகளின் ஆற்றல், அழுத்தம், கணிப்பானின் விட்டம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது. இதன் அளவை, கணிப்பானில் வெவ்வேறு அழுத்தங்கள் இருக்கும்போது கதிரியக்கத்தை அளப்பதன் மூலம் கணக்கிடலாம். பின்னர், ஓர் அச்சில் வாயுவின் ஒரு கிராம் மூலக்கூறுக்குப் பதிவு செய்யப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதத்தையும், இன்னோர் அச்சில் அழுத்தத்தின் தலைகீழ் அளவையும் கொண்டு ஒரு வரைபடம் வரையப்படுகிறது. சுவர் விளைவு சுழியாக இருக்கக்கூடிய முடிவிலா அழுத்தத்தில் எண்ணிக்கை வீதம் வரைபடம் மூலம் காணப்படுகிறது.

மைக்ரோ வெப்ப அளவியல்

மின்னூட்டத் துகள் வெளியீடு வீதத்தை நேரடியாக அளக்க இயலாதபோதும், கதிரியக்கத் தோற்றுவாயைப் படித்தரப்படுத்த வேண்டும். ஹைட்ரஜன்-3, சல்ஃபர்-35, போலோனியம்-210 போன்ற γ கதிர் சம்பந்தப்படாத கதிரியக்கத் தோற்றுவாய்களைப் படித்தரப்படுத்த மைக்ரோ வெப்ப அளவியலைப் (micro calorimetry) பயன்படுத்திச் சிதைவு வீதத்தைக் கணக்கிடலாம். இதற்கு, வெளிவிடப்படும் α துகள்களின் ஆற்றல் அல்லது β துகள்களின் சராசரி ஆற்றல் தெரிந்திருக்க வேண்டும். மாதிரியின் வெப்ப வெளியீட்டைப் பொறுத்துச் சிதைவு வீதத்தைக் கணக்கிடலாம். (இந் நூலின் மூன்றும் அத்தியாயத்திலுள்ள 'கலோரிமீட்டர்' பகுதியைப் பார்க்கவும்.)

ரேடியத்தின் அனைத்துலகப் படித்தரங்களை (international standards of Radium) ஒப்பிடவும் மைக்ரோ வெப்ப அளவியல் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

காமாக் கதிர் எண்ணிக்கை

α மற்றும் β சிதைவுகளுடன் γ கதிர் சம்பந்தப் பட்டிருக்கும்போது தோற்றுவாயை γ கதிர் அளவீடுகளைக் கொண்டு படித்தரப்படுத்துவது எளிதானது.

NaI (Tl) படிகமும் ஒளிக்குழாயும் கொண்ட சுடர்க் கணிப்பான் ஒரு முறையாகும். NaI-யிலுள்ள இயற்பியற் பண்புகள் மின்காந்தக் கதிரியக்கப் பகுப்புக்கு ஏற்றனவாக உள்ளன. இத்தகைய கண்டுணர் கருவியைக்கொண்டு கிடைக்கும் γ கதிர் நிறமாலையில் பண்புகளையும், துடிப்பு-உயரப் பகிர்வையும் (pulse-height distribution) படித்தரப்படுத்துவதற்கு இவை எவ்வாறு உதவுகின்றன என்பதையும் சற்று விரிவாகப் பார்ப்போம்.

படம் 13-7-ல் கீழ்க்கண்ட இலட்சியத் தற்கோள்களை (ideal assumptions) ஏற்படுத்திக்கொள்வோம்.

(அ) படிகத்தில் நுழையும் எல்லாக் காமாக் கதிர்களும் மொத்தமாக உட்கவரப்படுகின்றன. அதாவது, ஒவ்வொரு காமாக் குவாண்டத்திலுமுள்ள எல்லா ஆற்றலும் ஒளியாக மாற்றப்படுகிறது.

(ஆ) ஒவ்வொரு குவான்டத்திலுமிருந்தும் ஒரே அளவான சமமான ஒளி உண்டாக்கப்படுகிறது ; அது முற்றிலும் ஒளிக்குழாயிலுள்ள ஒளி - எதிர்மின் வாய்க்குச் செலுத்தப்படுகிறது.

(இ) கண்டுணரப்படும் ஒவ்வொரு γ கதிருக்கும், ஒளி எதிர் மின்வாய் ஒரே எண்ணிக்கையிலான ஒளி எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகிறது. ஒளிக்குழாயிலுள்ள ஒவ்வொரு டைனோடும் (dynode) ஒரே எண்ணிக்கை யிலான இரண்டாம் நிலை எலெக்ட்ரான்களை வெளி விடுகின்றன.

மேற்கூறிய தற்கோள்களின்படி, குறிப்பிட்ட ஆற்றலுள்ள ஒவ்வொரு காமாக் கதிருக்கும் வெளிவரும் துடிப்பிற்கு ஒரே அளவான வீச்சு (amplitude) இருக்கும். சீசியம்—137, பேரியம்—137m (Caesium, Barium) ஆகியவற்றின் சிதைவி லுள்ள 662-Kev காமாக் கதிர்களுக்கான துடிப்பு-உயரம் படம் 13·7 (a)-ல் காட்டியுள்ளபடி இருக்கும், (வோல்ட்டுகளாக அளக்கப்பட்ட போதிலும் அவை ஆற்றல் அலகுகளாக மாற்றப் படுகின்றன.)

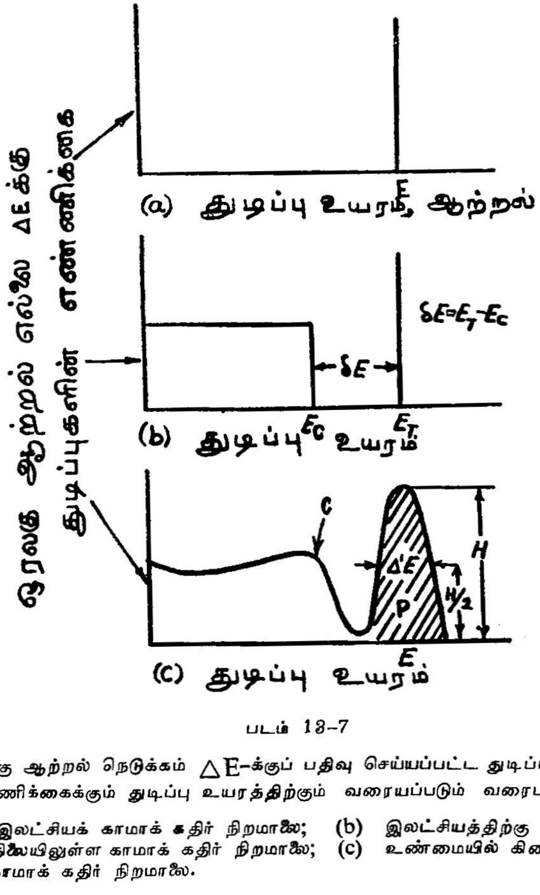
மேற்கூறிய தற்கோள்கள், இயற்கையில் ஒன்றாக ஒத்தியலக் கூடியவை அல்ல. அவற்றை ஒவ்வொன்றாக நீக்கிவிட்டு விளைவுகளைப் பார்ப்போம்.

குறைந்த ஆற்றல் உள்ள γ கதிர்கள், X கதிர்கள் மற்றும் மிகப்பெரிய NaI (Tl) படிகங்கள் ஆகியவற்றிற்குத் தவிர எல்லா X, γ கதிர்களும் உட்கவரப்படுவதில்லை. அதில் ஒரு பகுதி ஒளிமின் உட்கவர்தல் அல்லது காம்ப்டன் சிதறல்களால் உட்கவரப்பட்டுவிடும். இந்த விளைவுகள் படம் 13—7 (b)-ல் E_T எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. இன்னொரு பகுதி எவ்வித இடையீட்டுச் செயலும் இல்லாமல் சென்றுவிடும். மீதமுள்ள ஃபோட்டான்கள் ஓரிரு காம்ப்டன் சிதறல்களுக்கு உள்ளாகி படிகத்திலிருந்து வெளியேறிவிடும். இதில் அவற்றின் ஆற்றலின் ஒரு பகுதியும் போய்விடும்.

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (I - \cos \theta)$$

இதில் θ, 0-விலிருந்து 180 வரை மாறும்போது $\lambda' - \lambda$-வின் மதிப்பு 0-விலிருந்து $2h/m_0c$ வரை மாறும். இது படம்

13-7 (b)-ல் காட்டியுள்ள மாதிரியில் ஆற்றல் பகிர்வைக் காட்டுகிறது. படத்தில் δE என்பது 180°-யில் பின்சிதறலடைந்த ஃபோட்டானின் சிறும ஆற்றல் ஆகும். இது படிகத்தினுள் உள்ள எலெக்ட்ரானுக்கு E_C அளவு ஆற்றலைக் கொடுத்துவிட்டு வெளியேறுகிறது. எனவே, தற்கோள் (அ) பொருந்துவதில்லை.



படம் 13-7

ஓரலகு ஆற்றல் நெடுக்கம் $\triangle E$-க்குப் பதிவு செய்யப்பட்ட துடிப்புகளின் எண்ணிக்கைக்கும் துடிப்பு உயரத்திற்கும் வரையப்படும் வரைபடங்கள்

(a) இலட்சியக் காமாக் கதிர் நிறமாலை; (b) இலட்சியத்திற்கு அடுத்த நிலையிலுள்ள காமாக் கதிர் நிறமாலை; (c) உண்மையில் கிடைக்கும் காமாக் கதிர் நிறமாலை.

இதுபோலவே தற்கோள்கள் (ஆ)-வும் (இ)-யும் பொருந்துவதில்லை. காமாக் கதிர் ஆற்றல் ஒளி ஃபோட்டான்களாக மாற்றப்படும்போது ஏற்படும் புள்ளியியல் வேறுபாடுகளின் காரணமாகவும், படிகத்திலும் அது வைக்கப்பட்டுள்ள

கூட்டிலும் ஏற்படும் ஒழுங்கற்ற பிரதிபலிப்புகளின் காரண மாகவும், உட்கவரப்படும் ஒவ்வொரு காமாக் கதிருக்கும் ஒரே அளவான ஒளி, ஒளிக்குழாய்க்கு வந்து சேருவதில்லை. மேலும், ஒளிக்குழாயின் மாற்றும் திறனிலுள்ள (conversion efficiency) சீரற்ற தன்மை காரணமாகவும், டைனோடின் பெருக்கும் பண்புகளில் உள்ள வேறுபாடுகளின் காரணமாகவும் ஒளிக்குழாயின் வெளிவரு அளவு (output) வேறுபடுகிறது. இத்தகைய வேறுபாடுகளாலும், ஒழுங்கற்ற தன்மைகளாலும் படம் 13-7 (இ)-யில் காட்டியுள்ளபடி துடிப்பு உயரப் பகிர்வு கிடைக்கிறது. இதுவே உண்மையில் கிடைக்கும் காமாக் கதிர் நிறமாலை இதில் *P* எனக் குறிப்பிடப்பட்டுள்ள பகுதி 'முழு ஆற்றல் முகடு' (full energy peak) எனவும், *C* எனக் குறிப்பிடப்பட்டுள்ள பகுதி ஆற்றலின் 'காம்ப்டன் விளிம்பு' (compton edge) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.

சுடர்க் கணிப்பானின் பண்புகளில் ஒன்று, அதன் ஆற்றல் பிரிதிறன். ஆற்றல் பிரிதிறன் $\Delta^1 E/E$ என வரையறுக்கப்படு கிறது. சீசியம்-137— பேரியம்-137m 662 Kev காமாக் கதிர் தோற்றுவாயையும், 2″×2″ அல்லது 3″×3″ **NaI (Tl)** உருளைப் படிகத்தையும், 2″ அல்லது 3″ விட்டமுள்ள ஒளிக்குழாயையும் கொண்டு 7 அல்லது 8 சதவீத ஆற்றல் பிரிதிறன் கிடைத் துள்ளது.

$$\left(\frac{\Delta^1 E}{E}\right)^2 = a + \frac{b}{E}$$

எனக் காணப்பட்டுள்ளது. இதில் *a, b* ஆகியவை மாறிலிகள். *a* என்பது படிகத்திலிருந்து ஒளிக்குழாய்க்கு ஒளி மாறும்போது ஏற்படும் ஒழுங்கற்ற தன்மைகளையும், *b* என்பது, முன்னர்க் குறிப்பிடப்பட்ட புள்ளியியல் வேறுபாடுகளையும் குறிக்கும்.

ஒரு காமாக் கதிர் தோற்றுவாயைச் சுடர்க் கணிப்பான் மூலம் படித்தரப்படுத்த, நிறமாலை பெறப்பட்டு,

$$N\gamma = A/t\, E_p\, \Omega$$

என்ற சமன்பாடு பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் N_r என்பது, கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டிய, தோற்றுவாயின் γ கதிர் வெளி விடு வீதத்தைக் குறிக்கிறது. *A* என்பது, முழு ஆற்றல் முகட்டி லுள்ள எண்ணிக்கையையும், *t* என்பது, அளக்கப்படும் நேரத் தையும், Ω என்பது, திண்மக் கோணத்தையும், Ep என்பது, உள்ளியல்பான முகடு—திறனையும் (peak efficiency) அல்லது

படும் காமாக் கதிர் முழு—ஆற்றல் முகட்டில் ஒரு விளைவை ஏற்படுத்தக்கூடிய வாய்ப்பையும் குறிக்கும்.

பாழ்—நேரத் திருத்தம்

எண்ணிக்கை வீதத்தைக் கணக்கிடும் சோதனைகளில் துல்லியமாகத் தெரிந்த ஒரு பாழ்—நேரச் சுற்று (dead-time circuit) இருப்பது அவசியம். இது, கைகர்-முல்லர் எண்ணி போன்றவற்றைச் செயற்படுத்தும்போது ஏற்படக்கூடிய வேறுபடும் பாழ்—நேரங்களை ஒதுக்க உதவுகிறது. இந்தப் பாழ்—நேரத்தினால் ஏற்படக்கூடிய எண்ணிக்கை இழப்புகளுக்கு, ஒரு திருத்தம் செய்ய வேண்டும். ஒவ்வொரு முறையும் ஒரு துடிப்பு ஒரு பாகுபடுத்தியைத் (discriminator) துவக்கும்போதும் பாழ்—நேரம் T_d ஏற்படுத்தப்படுகிறது. பதிவு செய்யப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதம் r எண்ணிக்கை / செகண்டாக இருந்தால், கருவி ஒரு செகண்டில் உணர்வற்றதாக இருக்கும் நேரம் (அதாவது பாழ்—நேரம்) rT_d. எனவே, கணிப்பான், பதிவு செய்யப்படும் நேரத்தில் $1 - r\,T_d$ நேரத்திற்கே எண்ணிக்கைகளுக்கான ஏற்புத் தன்மையுடன் இருக்கும். எனவே, பாழ்—நேரத்திற்காகத் திருத்தப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதம்

$$R = \frac{r}{1 - r\,T_d}$$

$r\,T_d$-யின் அளவு 0·1-க்கும் மேலாக இருந்தால், எண்ணிக்கை வீதங்களைக் கணக்கிடாமல் விட்டுவிட வேண்டும்.

கணிப்பின் புள்ளியியல்

பல்வேறு வகைப் பிழைகளையும் அவற்றிற்கான திருத்தங்களையும் பார்த்தோம். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குள் ஏற்படும் விளைவுகளைக்கொண்டு கதிரியக்கச் சிதைவு தீர்மானிக்கப்படுகிறது. எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் கிடைக்கும் எண்ணிக்கை, உண்மையான எண்ணிக்கை வீதத்தின் சுமாரான மதிப்பாகத்தான் இருக்கும். எனவே, அளக்கப்படும் r, புள்ளியியல் வேறுபாடுகளுக்கேற்ப (statistical fluctuations) மாறுபடுகிறது. எனவே, உண்மையான மதிப்பின் அளவு r-ஐத் தீர்மானிப்பதற்காக எண்ணப்படும் விளைவுகளின் எண்ணிக்கையான n-ஐப் பொறுத்திருக்கிறது. இந்த வகை அளவீடுகளில் ஏற்படும் புள்ளியியல் பிழைகளுக்கான சமன்பாடு, 'பாய்ஸான்

புள்ளியியல் பகிர்வு' களிலிருந்து (Poission statistical distribution) கிடைக்கிறது. இது படித்தர திசைமாற்றம் (standard deviation) என்று அழைக்கப்பட்டு, σ-வால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$\sigma = \sqrt{v} \sim \sqrt{n}$$

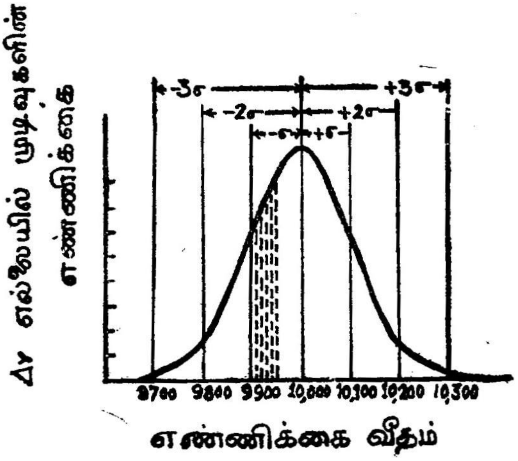
இதில் v என்பது, உண்மையான நேரத்தில் உண்மையான எண்ணிக்கை வீதத்தில் ஏற்படும் விளைவுகளின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கிறது. இந்த உண்மையான அளவுகள் நமக்கு எப்போதுமே தெரியாதாகையால்,

$$\sigma \sim \frac{1}{t}\sqrt{n}$$

$$\sim \sqrt{\frac{r}{t}}$$

படித்தர திசைமாற்றம் என்பது, ஒரு காட்சிப் பதிவுத் தொகுதியின் சிதறல்களின் அளவைக் குறிப்பிடுகிறது. சிதைவு வீதம் மாறிலியாக இருக்கக்கூடிய ஒரு கதிரியக்கத் தோற்று வாயைக்கொண்டு, ஒவ்வொன்றும் சரியாக ஒரு நிமிட நேரமுள்ள, அடுத்தடுத்த 100 காட்சிப்பதிவுகளைச் செய்வதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வோர் அளவீட்டுக்கும் 10,000 எண்ணிக்கைகள் எனவும் கொள்வோம். இந்த உதாரணத்திற்காக, இந்த 100 காட்சிப் பதிவுகளின் சராசரி, ஒரு நிமிடத்திற்கு 10,000 எண்ணிக்கைகள் எனக் கொள்வோம். இப்பொழுது ஒரு வரைபடம் வரைந்தால், படம் 13—8-ல் உள்ளது போல, ஒரு மணி வடிவமுள்ள 'காஸ் பகிர்வு வளைகோடு' (Gauss distribution curve) கிடைக்கிறது. இதிலிருந்து 9900-லிருந்து 10,100 எண்ணிக்கைகளுக்குள் 68 காட்சிப் பதிவுகள் உள்ளன எனத் தெரிகிறது. உண்மையில் நூறு, நூறு காட்சிப் பதிவுகளாக நிறையத் தொகுதிகள் செய்யப் பட்டால், இவற்றில் 68 சதவீதத்தில், 63 முதல் 73 காட்சிப் பதிவுகளுக்குள் 9900-லிருந்து 10,100 எண்ணிக்கைகள் கிடைக்கும். இதே போல, ஆயிரம், ஆயிரம் காட்சிப் பதிவுகளாக நிறையத் தொகுதிகள் செய்தால், இவற்றில் 68 சதவீதத்தில், 668 முதல் 698 காட்சிப் பதிவுகளில் 9900-லிருந்து 10,100 எண்ணிக்கை கிடைக்கும். கொள்கைகளின்படி நமக்கு $\pm\,\sigma$ எல்லைக்குள் 68·3 சதவீதம் கிடைக்கவேண்டும். இன்னொரு முறையில் சொல்ல வேண்டுமானால், $\pm\,\sigma$-க்குள் காட்சிப்பதிவு கிடைக்கக்கூடிய வாய்ப்பு 68·3 சதவீதமாகும். இதேபோல

$\pm 2\ \sigma$-க்குள் 95·4 சதவீதமும், $\pm 3\ \sigma$-க்குள் 99·7 சதவீதமும் காட்சிப் பதிவுகள் கிடைக்கும்.



படம் 13—8

ஒரு கதிரியக்கத் தோற்றுவாயைக்கொண்டு அளவிடப்பட்ட எண்ணிக்கை வீதத்திற்கான காஸ் பகிர்வு வளைகோடு.

$$\sigma \sim S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} (x_i - \bar{x})}{m - 1}}$$

இதில் x_i என்பது, i யாவது, காட்சிப்பதிவில் ஏற்படும் எண்ணிக்கையையும், $\bar{x}$ என்பது, m காட்சிப்பதிவுகளிலுள்ள சராசரி எண்ணிக்கையையும், S என்பது, சுமாரான மதிப்பையும் குறிக்கின்றன. $\bar{x}$ என்பது, சோதனைப்படி தீர்மானிக்கப்பட்ட சராசரி அளவாக இருந்து, உண்மையான மதிப்பான x-க்குச் சமமாக இருந்தால் $\sigma \equiv S$.

கதிரியக்கச் சிதைவு புள்ளியியல் முறையாதலால், ஒரு காட்சிப்பதிவுத் தொகுதியிலிருந்து கிடைக்கும் முடிவுகள் கணக்கிடப்படும் மதிப்பிற்குக் குறைவாகவோ கூடுதலாகவோ இருக்கும். இத்தகைய காட்சிப்பதிவுத் தொகுதிகளின் மதிப்பு பற்றிய ஆதார விவரங்களை கே. பியர்சன் (K. Pearson) என்பவர் தந்துள்ளார்.

பல சோதனைகளில், கண்டுணர் கருவி ஒரு பின்னணி வீதத்தைக் (background rate) காட்டுகிறது. இதனைப் புறக்கணிக்க முடியாது. இதனை இறுதியில் கிடைக்கும் மொத்த மான எண்ணிக்கை வீதத்திலிருந்து கழிக்க வேண்டும். எனவே, பின்னணியில் ஏற்படும் மாறுபாடுகளையும், பிழை திருத்தத்தில் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். பிழைகளின் கொள்கைப்படி (theory of errors), நிகர எண்ணிக்கை வீதத்தின் படித்தரத் திசைமாற்றம்,

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{T^2} + \sigma_{B^2}} \sim \sqrt{\frac{r_T}{t_T} + \frac{r_B}{t_B}}$$

இதில் T என்பது, மொத்த வீதத்தையும், B என்பது, பின்னணி வீதத்தையும் குறிக்கின்றன.

ஆற்றல் அளவீடுகளுக்கு வாயு அயனிக்கலங்களைவிட குறைகடத்தி கண்டுணர் கருவிகளே சிறந்தவை. இதற்கான காரணத்தைப் பார்ப்போம். ஓராற்றல் கதிரியக்கத் தோற்று வாயை மேற்கூறிய எண்ணிகளாலோ, சுடர் எண்ணியாலோ, விகித எண்ணியாலோ அளக்கும்போது, பதிவு செய்யப்படும் துடிப்பு உயரங்கள், நிகழ்தகவு மதிப்பைச் சுற்றி காசியன் பகிர்வு பெற்றுள்ளன. (படம் 13—7-ல் உள்ள P என்பதைப் பார்க்கவும்.) இத்தகைய பகிர்வுக்கான பகுப்பு

$$\frac{\Delta E}{E} = 2{\cdot}36\ \sigma$$

துடிப்பு அயனிக்கலம் அல்லது குறைகடத்திக் கண்டுணர் கருவியில் ஆற்றல் பகுப்பு $\sqrt{n}/n$ அல்லது $1/\sqrt{n}$ -க்கு நேர் விகிதமாக இருக்கிறது. n என்பது, அயனி—இரட்டைகளின் அல்லது எலெக்ட்ரான்—துளை இரட்டைகளின் எண்ணிக்கையைக் குறிப்பிடுகிறது. ஒரு 5·3 Mev ஆல்ஃபாத் துகள் வாயு அயனியாக்கக் கலத்தில் சராசரியாக 204,000 அயனி—இரட்டைகளை உண்டாக்கும். (ஓர் அயனி இரட்டையை உண்டாக்க 26 ev செலவாகிறது.) அதே ஆல்ஃபாத் துகள் குறைகடத்திக் கண்டுணர் கருவியில் 7·5 மடங்கு அதிகமாக எலெக்ட்ரான்—துளை இரட்டைகளை உண்டாக்கும். (ஏனெனில், ஓர் இரட்டைக்கு 3·5 ev தான் தேவைப்படுகிறது.) வாயு அயனியாக்கத்தில், σ^2 சாதாரணமாக எதிர்பார்க்கப்படுவதில் 1/3 அல்லது 1/2 தான் உள்ளது என யு. ஃபேனோ (U. Fano) காட்டியுள்ளார்.

ஃபேனோ **எண்** 1/2·5 எனக் கொண்டால், வாயு அயனியாக்கக் கலத்திற்கான σ— **-ன்** மதிப்பு $(2{,}04{,}000/2·5)^{\frac{1}{2}}$ ~ 286 அல்லது 2,04,000-ல் 0·14 சதவீதமாகும். மேலும், ஆற்றல் பகுப்பு 2·36 — -வின் மதிப்பு ~ 0·33 சதவீதம் அல்லது ~ 18 kev. குறைகடத்திக் கண்டுணர் கருவிகளில் (ஃபேனோ எண்ணுக்கான மதிப்பு 1/10 முதல் **1/5** வரை கிடைத்திருப்பதால் 1/7·5 எனக் கொண்டால்), ஆற்றல் பகுப்பு ~ 0·07 சதவீதம் அல்லது ~ 3·7 Kev. செயல் முறையில், இந்த மதிப்புகள், உபயோகிக்கப் படும் பெருக்கியின் சத்தத்துக்கேற்ப சரி செய்யப்படுகின்றன.

எனவே, கிடைக்கக்கூடிய ஆற்றல் பகுப்பு, கண்டுணர் கருவியின் பகுப்பு—பெருக்கியின் சத்தம் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையின் சராசரி இருமடியின் இருமூலமாகும் (root mean square). பெருக்கியின் சத்தம் இணைமாற்று ஆற்றல் அலகுகளால் (equivalent units of energy) குறிக்கப்படுகிறது. ஆகவே, இணைமாற்று சத்தம் ~ 5 Kev-யுடன் உள்ள பெருக்கிகளைக் கொண்டு, மொத்தமாகக் கிடைக்கக்கூடிய குறைகடத்தி—பெருக்கிப் பகுப்பு $\sqrt{3·7^2 + 5^2}$ அல்லது ~ 6·2 Kev.

ஒரு விகித எண்ணியில் ஆற்றல் பகுப்பு, (a) படும் கதிரால் உண்டாகக்கூடிய அயனி இரட்டைகளின் எண்ணிக்கையையும் (b) வாயு ஈட்டம் அல்லது பெருக்கத்தையும் சார்ந்தது. 90 சதவீத ஆர்கான் 10 சதவீத மெதேன் (methane) கலவையால் உண்டாக்கப்படும் ஓர் அயனி இரட்டைக்குச் செலவாகும் ஆற்றல் **26 kev.** இவ்வாறாக, இரும்பு—55-ன் சிதைவால் வெளி விடப்படும் 5·9 kev எக்ஸ் கதிர்கள் சராசரியாக $227 \pm \sqrt{227}$ அயனி இரட்டைகளை உண்டாக்க வேண்டும். பகுப்புக்கு, தொடக்க அயனியாக்க விளைவினால் கிடைக்கும் பங்கு

$$2·36 \sqrt{\frac{227}{227^2 \times 2·5}} \text{ அல்லது } 9·9\,\%$$

பல ஆசிரியர்களும், பல்வேறு நூல்களும் வாயு ஈட்டத்தினால் பகுப்பில் ஏற்படும் விளைவுகளுக்கான மதிப்புகளைத் தந்துள்ளனர். ஆனால், இம் மதிப்புகள் சோதனை முடிவுகளோடு ஒத்துவருவ தில்லை. எனினும், குரான், காக்ராஃப்ட் ஆன்கஸ் (S. C. Curran, A. L. Cockraft, J. Angus) ஆகியோர் பகுப்பின் அளவு $0·67/\bar{n}$ என்ற அளவுக்கு அதிகரிக்கப்பட வேண்டும் எனக் கூறுகின்றனர். இதில் $\bar{n}$ என்பது படும் கதிரால் உண்டாக்கப்படும் அயனி இரட்டைகளின் சராசரி எண்ணிக்கையைக் குறிக்கிறது. இதில்

ஃபேனே எண்ணைச்சேர்க்க வேண்டியதில்லை. எனவே, குரான், காக்ராப்ட், ஆன்கஸ் கோட்பாட்டுப்படி பகுப்பு சதவீதம் 236 $\sqrt{2 \times 0{\cdot}67 / \pi}$ ஆகிறது.

கதிரியக்கப் படித்தரங்களின் பயன்கள்

இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், மருத்துவம் மற்றும் தொழிற்றுறைகளில் கதிரியக்கப் படித்தரங்கள் மிகுதியாகப் பயன்படுகின்றன. இயற்பியல் ஆய்வில், நியூட்ரான் செயற்படுத்தப்படும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புகளைத் தீர்மானிக்கும்போது, உண்டாக்கப்படும் கதிரியக்கத்தின் அளவு சரியாக அளக்கப்பட வேண்டும். இத்தகைய அளவீடுகளுக்குப் பயன்படுத்தப்படும் கருவிகள், கதிரியக்கப் படித்தரங்களால் திருத்தப்படுகின்றன.

நோயைக் காண்பதற்கும், குணப்படுத்துவதற்கும் மருத்துவ மனைகளில் பலவகை ரேடியோ நியூக்ளைடுகள் பயன்படுவதால், நோயாளிகளுக்குக் கொடுக்கக்கூடிய அளவுகள் துல்லியமாகத் தெரிந்திருக்க வேண்டும். செயற்கை நியூக்ளைடுகள் பெருமளவில் தயாரிக்கப்படுவதால், வர்த்தகத்திலும் தொழிற்றுறையிலும் அவை அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இங்கும், தயாரிப்பவரும் பயன்படுத்துபவரும் குறிப்பிட்ட அளவுகளை அளப்பதற்குக் கதிரியக்கப் படித்தரங்கள் பயன்படுகின்றன.

திறனைத் தீர்மானித்தல்

கண்டுணர் கருவிகளின் திறனைத் தீர்மானிக்க அல்லது அவற்றில் திருத்தம் செய்யக் கதிரியக்கப் படித்தரங்கள் மிக அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதற்கு, முன்னரே சிதைவு வீதம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட படித்தரப்படுத்தப்பட்ட கதிரியக்கக் கரைசல்களிலிருந்து தோற்றுவாய்கள் தயாரிக்கப்பட வேண்டும். கண்டுணர் கருவியில் எந்த வடிவியலில் (geometry) உபயோகப்படுத்தப்படப் போகிறதோ அதே வடிவியலில் இத் தோற்றுவாய்களை அளக்க வேண்டும். மேலும், கண்டுணர் கருவியின் திறன் வெவ்வேறு ரேடியோ நியூக்ளைடுகளுக்கேற்ப வேறுபடும்; எனவே, இயன்ற அளவுக்கு, வேண்டிய ரேடியோ நியூக்ளைடின் படித்தரத்தைக்கொண்டுதிருத்தங்கள் செய்யப்பட வேண்டும்.

நீண்ட அரை—வாழ்வுகளைத் தீர்மானித்தல்

பல அரை வாழ்வுகளைக்கொண்ட நீண்ட நேரத்திற்கு, ரேடியோ வேதியியற்படி (radiochemical) தூய்மையான

மாதிரியின் கதிரியக்கத்தைப் பல முறை திரும்பத் திரும்ப அளந்து, ஒரு ரேடியோ நியூக்ளைடின் அரை வாழ்வுக்காலம் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. பின்னர்,

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

என்ற சமன்பாடு பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதன்படி எந்த இரு அளவீடுகளுக்கும்

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\lambda(t_2-t_1)} = \frac{(dN/dt)t_1}{(dN/dt)t_2}$$

மேலும், $\ln N_1 - \ln N_2 = \lambda (t_2-t_1)$

ஒரு வரைபடத்தில் $\ln N_i$-யையும் t_i-யையும் இரு அச்சுகளில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டு, சரிவு λ தீர்மானிக்கப்பட்டால், $t_{\frac{1}{2}}$ கிடைக்கிறது.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{\cdot}69315}{\lambda}$$

அரைவாழ்வு மிக அதிகமாக இருக்கும்போது, இம் முறையில் கண்டுபிடிக்க முடியாது. எனவே, λ மற்றொரு முறையால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. அடிப்படைச் சிதைவு விதிப்படி,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

நிறைமாலைமானி மூலம் தோற்றுவாயிலுள்ள கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கை N, சிதைவு வீதம் dN/dt ஆகியவை தெரிந்தால் λ-வை எளிதில் கணக்கிடலாம். இம் முறையில் கீழ்க்கண்டவற்றின் அரைவாழ்வுக் காலங்கள் கணக்கிடப் பட்டுள்ளன.

டிரைஷியம்	12·26	ஆண்டுகள்
கார்பன்—14	5730	,,
குளோரின்—36	$3{\cdot}08 \times 10^5$	,,
பொட்டாசியம்—40	$1{\cdot}27 \times 10^9$	,,
அயோடின்—129	$1{\cdot}56 \times 10^7$	,,
ரேடியம்—226	1622	,,

மேலும் பலவற்றின் அரைவாழ்வுக் காலங்களும் இம் முறையில் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. டிரைஷியத்தைத் பொறுத்த வரையில், H^3-ன் அளவும் அதன் சிதைவு விளைபொருளான He^3-ன் அளவும் நிறைமாலைமானி முறையில் தீர்மானிக்கப்பட்டன. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் உண்டான He^3-ன் அளவு, H^3-ன் சிதைவு வீதத்தைத் தருகிறது. மறுதலையாக (conversely), பொட்டாசியம்—40 இயற்கையில் அதிகமாகக் கிடைப்பதால், அதன் அரைவாழ்வுக் காலம் தெரிந்தால், தூய்மையான பொட்டாசியம் உப்பை நிறுத்து எடுத்துக்கொண்டால் அதுவே ஒரு கதிரியக்கப் படித்தரமாகிவிடும்.

14. கதிரியக்கத்தின் பயன்கள்

இன்று, பல்வேறு துறைகளிலும் கதிரியக்கத்தின் பயன் பெருகி வருகிறது. செயற்கைக் கதிரியக்கம் கண்டு பிடிக்கப் பட்ட பின்னர் இப் பயன்கள் பன்மடங்கு அதிகரித்துள்ளன. உயிரியல் துறையில் மனித, தாவர, விலங்கு இனங்களின் உயிர் வாழும் முறையிலுள்ள சிக்கலான தன்மைகளை விளக்கக் கதிரியக் கம் பெருமளவில் உதவியிருக்கிறது. வேதியியற்றுறையில் பல் வேறு பகுப்பாய்வுகளுக்கும் இடையீட்டுச் செயல்களைப் புரிந்து கொள்ளவும் கதிரியக்கம் பயன்படுகிற து. மேலும் இயற்பியல், மருத்துவம், வேளாண்மை, நிலவியல் (geology), மின்வேதியியல் (Electro chemistry), கூழ் வேதியியல் (colloid chemistry), பகுப் பாய்வு வேதியியல் (analytical chemistry), அணுக்கரு இயற் பியல் (nuclear physics), தொழிற்றுறை போன்ற பல்வேறு துறைகளிலும் கதிரியக்கத்தின் பயன் உணரப்பட்டுள்ளது. பல் வேறு விஞ்ஞானத் துறைகளிலும் கதிரியக்கத்தின் பயனை அறிய, அவ்வத் துறையில் ஆழ்ந்த புலமை தேவை. ஏனெனில், இந்த முடிவுகள் நுட்பமானவை (technical). எனவே, மேலோட்ட மாகக் கதிரியக்கத்தின் பயன்களை இப் பகுதியில் காண்போம்.

அடிப்படைத் துகள்களின் கண்டுபிடிப்பு

கதிரியக்கத்தைப் பற்றித் தெரிந்த பின்னர்தான் எலெக்ட் ரான், நியூட்ரான், பாசிட்ரான், டியூட்ரான், ஆல்ஃபாத் துகள் போன்ற அடிப்படைத் துகள்கள் (fundamental particles) கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்த அடிப்படைத் துகள்களைப் பற்றிய அறிவு, தனிமங்களின் செயற்கைக் கருமாற்றத்துக்குப் (transmutation) பெரிதும் உதவியிருக்கிறது.

கதிரியக்கக் கண்டுபிடிப்புக்குப் பின்னரே, அணுவின் அமைப்பு பற்றிய நமது அறிவு விரிவடைந்திருக்கிறது. உதாரணமாக, அணுக்களால் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் சிதறலடைவது, நேர்மின்னூட்டமுடைய கனமான அணுக் கருக்கள் இருப்பதைக் காட்டியிருக்கிறது. ஆல்ஃபாத் துகள்கள் விலக்கமடையும் அளவு, அணு எண்ணும் அணுக்கரு மின்னூட்டமும் எண்ணலளவையில் சமம் என்பதைக் காட்டி

யுள்ளது. கதிரியக்கத் தனிமங்களிலிருந்து வெளிப்படும் α, β கதிர்கள், அணுக்கருவில் ஹீலியம் அணுக்கருவும், உள்ளடங்கிய வட்டத்தில் மிகவேகமாகச் சுற்றும் எலெக்ட்ரான்களும் உள்ளன என்ற உண்மையை வெளிப்படுத்தியுள்ளன. பெரிலியம், நைட்ரஜன் போன்ற தனிமங்கள் α துகள்களால் சிதைவடைவது, இந்த அணுக்களின் கருக்களில் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் உள்ளன என்ற உண்மையை வலுப்படுத்துகிறது.

புதிய தனிமங்கள் கண்டுபிடிப்பு

1902-ம் ஆண்டுவரை யுரேனியம், தோரியம், ரேடியம் ஆகிய மூன்று மட்டுமே தெரிந்த கதிரியக்கத் தனிமங்களாக இருந்தன. அணு எண் 92-க்கும் மேலான, புற யுரேனியத் தனிமங்கள் (transuranic elements) இயற்கையில் இருப்பது, கதிரியக்கக் கண்டுபிடிப்புக்குப் பின்னரே தெரிந்தது. நெப்டுனியமும் புளூட்டோனியமும் இயற்கையில் உள்ளன. ஏராளமான கதிரியக்க ஐசடோப்புகளும் செயற்கையான முறையில் தயாரிக்கப்பட்டதன் காரணமாக அமெரிக்கம், க்யூரியம், பெர்க்கிலியம், கலிஃபோர்னியம், ஐன்ஸ்டீனியம், ஃபெர்மியம், மெண்டலேவியம், நோபிலியம், லாரன்சியம், குர்ச்சாடோவியம், ஹானியம் போன்ற புற யுரேனியத் தனிமங்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. இவை இயற்கையில் இல்லாதிருப்பதற்கு இவற்றின் மிகக் குறைவான அரைவாழ்வுக் காலமே காரணமாக இருக்க வேண்டும்.

அணு ஆற்றல்

அணுவிலிருந்து பெருமளவு ஆற்றலை வெளிப்படுத்தக் கதிரியக்கக் கண்டுபிடிப்பு உதவியுள்ளது. கதிரியக்கத் தனிமங்களிலிருந்து ஆல்ஃபா, பீட்டாத் துகள்களும், காமாக் கதிர்களும் வெளிப்படுவது, அணுக்கருவில் அடங்கியுள்ள அதிக ஆற்றலைப் பற்றிய குறிப்பைத் தருகிறது. அணு உலைகளில் (Atomic reactor) அணுக்கருப் பிளவை (nuclear fission) முறை மூலம் இந்த ஆற்றல் வெளிப்படுத்தப்படுகிறது. இந்த ஆற்றலைப் போர்க்காலங்களில் அழிவிற்கும், அமைதிக் காலங்களில் ஆக்கப் பணிகளுக்கும் பயன்படுத்தலாம்.

கதிரியக்க ஐசடோப்பு

கதிரியக்கத்தைப் பற்றி ஆராயும்போது, சாடி (Soddy) சில புதிய தனிமங்களைக் கண்டார். இவை, எல்லா வகையிலும்

ஒத்திருந்தாலும், நிறையிலும் கதிரியக்கப் பண்பிலும் வேறு பட்டன. இவற்றிற்கு ஒரே அணு எண்ணும், வெவ்வேருன நிறை எண்ணும் உள்ளன. இவையே ஐசடோப்புகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. பின்னர், ஆஸ்டன் (Aston) என்பவரால் செய்யப்பட்ட தீவிர ஆய்வுகளின் காரணமாக, அனேகமாக எல்லாத் தனிமங்களுக்கும் ஐசடோப்புகள் உள்ளன எனக் காணப்பட்டுள்ளது.

தற்காலத்தில் அணு உலையினுள் தனிமங்களை வைத்து, மிகுந்த செறிவுடைய அதிவேக நியூட்ரான்களால் அவற்றைத் தாக்கி, எல்லாத் தனிமங்களிலும் கதிரியக்கத்தை ஏற்படுத்தலாம் எனக் காண்பித்துள்ளனர். இம் முறையின் உலகின் பல்வேறு ஆய்வுக்கூடங்களிலும் ஏராளமான ஐசடோப்புகள் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன.

ஐசோபார்கள் உள்ளதையும் கதிரியக்கக் கண்டுபிடிப்பு வெளிப்படுத்தியுள்ளது ஒரு β கதிர் மாற்றம் எப்போதும் ஓர் ஐசோபார் உருவாவதில் முடிகிறது.

ஐசடோப்புகள் கீழ்க்காணும் முறைகளில் கிடைக்கின்றன.

(1) இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்கள்.

(2) சைக்ளட்ரான் போன்ற அதிவேகத் துகள் முடுக்கிகளில் (particle accelerators) நிலையான தனிமங்களைக் கதிர் வீச்சுக்குட்படுத்துதல்.

(3) நிலையான தனிமங்களை, அணு உலை அடுக்குகளிலிருந்து (Atomic reactor piles) பெற்ற நியூட்ரான்களுடன் கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்துதல்.

(4) அணுப்பிளவையின் விளைபொருள்கள்.

ஒவ்வொரு துறைக்கும் தேவையான ஐசடோப்புகளைத் தேர்ந்தெடுக்கும்போது அவை மிகக் கவனத்துடன் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன. ஏனெனில், அவற்றின் அரை வாழ்வுக் காலம், தேவையான அளவு காலத்திற்குச் செயற்படும் தன்மை வாய்ந்ததாகவும், தேவைக்குமேற் போகாததாகவும் இருக்க வேண்டும். குறித்த காலத்திற்கு மேலும் அவற்றின் அரை வாழ்வுக் காலம் இருக்குமேயாளுல், பின்னர் அதனுல் தேவை யற்ற பின்விளைவுகள் ஏற்படலாம்.

சுவடு அறியும் முறை

கதிரியக்கத்தின் மிக முக்கியமான பயன் ' சுவடு அறியும் முறை ' அல்லது ' செல்வழி அறியும் முறை ' (tracer technique) ஆகும். விஞ்ஞானத்தின் பல துறைகளிலும் இதன் பயன் வளர்ந்துகொண்டே போகிறது. தற்காலத்தில் அணு உலைகளைக்கொண்டு பலவகையான கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் (radio isotopes) தயாரிக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய வளர்ச்சிக்கு, கதிரியக்க அணுக்களின் அடிப்படைப் பண்புகளும் கதிரியக்க அளவீடுகளின் உணர்வு நுட்பமுமே காரணமாகும்.

விஞ்ஞான, தொழில் துறைகளில் கதிரியக்க ஐசடோப்புகளின் பயனை இருவகையாகப் பிரிக்கலாம்.

(1) கதிரியக்க அணுவின் வேதியியல் தன்மை எவ்வாறு இருந்தாலும், அவற்றால் வெளிவிடப்படும் கதிரியக்கத்தின் சில குறிப்பிட்ட பண்புகளைப் பொறுத்து அவை பயன்படுகின்றன. கதிர்கள் ஊடுருவும் சக்தி வாய்ந்தவை ; ஆகையால், தடிமனான சுவர்களுக்கு அப்பாலிருக்கும் கதிரியக்கத் தனிமங்களை எளிதில் கண்டறியலாம். கதிரியக்கம் உட்கவரப்படுவது நிறையுடன் தொடர்பு கொண்டது ; எனவே, ஆல்ஃபா, பீட்டாக்கதிர் அளவிகளைக்கொண்டு வேகமாகச் செல்லும் காகிதம், துணி, பிளாஸ்டிக் மற்றும் உலோகங்கள் ஆகியவற்றின் தடிமனை அவற்றைத் தொடாமலே அறியலாம்.

(2) கதிரியக்க ஐசடோப்புகளின் இரசாயனத் தன்மை மிக முக்கியமானது ; கதிர்களைக்கொண்டு கதிரியக்க அணுவை அடையாளம் காணலாம். இவ்வகைப் பயன்தான் 'சுவடு அறியும் முறை' எனப்படுகிறது. இது வேதியியல், மருத்துவம், வேளாண்மை முதலிய ஆய்வுகளில் பெரிதும் பயன்படுகிறது. இம் முறையைக்கொண்டு வேறெந்த இயற்பியல், வேதியியல் முறையாலும் கண்டுணர முடியாத மிகமிகச் சிறு அளவுகளையும் எளிதில் கண்டறியலாம்.

ஒரு செயல் நிகழ்ந்துகொண்டிருக்கும்போது, அதில் எந்த வித மாற்றமோ இடையூறோ செய்யாமல் தனிமத்தின் தடம் பற்றிச் செல்வதே சுவடு அறியும் முறை எனப்படுகிறது. நிலையான (stable) ஐசடோப்புகளைச் சுவடு அறிபவையாகப் (tracer) பயன்படுத்தலாம். ஆனால், அத்தகைய நிலையான ஐசடோப்புகள் மிகச்சிலவே உள்ளன. ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன், கார்பன், சல்ஃபர் ஆகியவற்றின் நிலையான ஐசடோப்புகளே

பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பொதுவாக, நிலையான ஐசடோப்புகளைவிட, செயற்கையான கதிரியக்க ஐசடோப்புகளே அதிகம் பயன் தருகின்றன. இவற்றை எளிதில் கண்டுணர முடிவதே இதற்குக் காரணம். மேலும் பல தனிமங்களுக்குக் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் எளிதில் கிடைக்கின்றன.

கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் சார்ந்த சோதனைகளுக்கு மின் காட்டி, கைகர்-முல்லர் எண்ணி போன்ற கருவிகளும், நிலையான ஐசடோப்புகள் சார்ந்த சோதனைகளுக்கு, அணுக்கள் அயனியாக்கம் செய்யப்பட்டுக் காந்தப்புலத்தில் செலுத்தப்படும், நிறைமாலை மானி (mass spectrograph) போன்ற கருவிகளும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

கதிரியக்க ஐசடோப்புகளைச் செல்வழி அதாவது, சுவடு அறிபவையாக முதன் முதலில் 1913-ம் ஆண்டு ஹெவஸி, பேனத் (Hevesey, Paneth) ஆகியோர் பயன்படுத்தி, இத்துறையைத் துவக்கி வைத்தனர்.

சுவடு அறியும் முறையில் பயன்படுத்தப்படும் பெரும்பாலான கதிரியக்க ஐசடோப்புகள், β துகள் வெளிவிடுபவை. இவற்றைப் பயன்படுத்தும்போது கால நேரம் மிக முக்கியமானது. பொதுவாக, அதன் அரைவாழ்வுக் காலத்தைப் போலப் பத்து மடங்கு காலத்திற்குக் கதிரியக்க ஐசடோப்பு பயனுள்ளதாக இருக்கும். பின் வரும் அட்டவணை 14—I-ல் சில பொதுவான கதிரியக்க ஐசடோப்புகளும் அவற்றின் அரைவாழ்வுக் காலங்களும் தரப்பட்டுள்ளன.

மருத்துவத்துறை

மருத்துவத்துறையில் எண்ணற்ற வகைகளில் கதிரியக்கம் பயன்படுகிறது. இவற்றில் பல சுவடு அறியும் முறையை அடிப்படையாகக்கொண்டவை. பல்வேறு தனிமங்களின் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் இதற்காகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட தனிமம் உடலினுள் எவ்வழியாகச் செல்கிறது, என்ன வேகத்தில் செல்கிறது, எங்குச் சென்று தங்குகிறது என்பதை அறிய இவை உதவுகின்றன. நோயைக் கண்டு பிடிக்கவும், குணப்படுத்தவும் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் உதவுகின்றன.

கதிரியக்கத் தன்மை வாய்ந்த சோடியம்-24 (Na^{24}) உடலினுள்ள இரத்தச் சுழற்சியைக் காண உதவுகிறது. (Na^{24})

அட்டவணை 14·1

சில கதிரியக்க ஐசடோப்புகளின் அரைவாழ்வுக் காலங்கள்.

ஐசடோப்பு	அரைவாழ்க் காலம்	ஐசடோப்பு	அரைவாழ்வுக் காலம்
H^{3}	12 ஆண்டுகள்	I^{131}	8 நாள்கள்
C^{14}	5700 ,,	Hg^{203}	43 ,,
Na^{22}	3 ,,	Na^{24}	14·8 மணி
Co^{60}	5·3 ,,	Cu^{64}	12·8 ,,
P^{32}	14·3 நாள்கள்	Br^{82}	34 ,,
S^{32}	87·1 ,,	C^{11}	21 நிமிடங்கள்
Ca^{45}	152 ,,	N^{13}	9·9 ,,
Fe^{59}	46 ,,	O^{15}	125 செகண்டு

அடங்கிய சோடியம் குளோரைடு (Nacl) ஊசி வழியாகக் கையிலுள்ள தோல் விளிம்பில் செலுத்தப்படுகிறது. ஒரு காலில் ஒரு கைகர்-முல்லர் எண்ணி இணைக்கப்படுகிறது. இரத்தச் சுழற்சி சரிவர இருந்தால் சோடியம் குளோரைடு விரைவில் அகன்றுவிடும். கைகர்-முல்லர் எண்ணியில் கதிரியக்கம் காணப்பட்டு, வேகமாக அதிகரித்து, விரைவில் பெரும அளவை அடைகிறது. இரத்தச் சுழற்சி சரியாக இல்லையென்றால், கதிரியக்கம் தடைப்பட்டு மிக மெதுவாக உயர்கிறது. உடனே, உடம்பின் பல்வேறு பாகங்களிலும் கைகர்-முல்லர் எண்ணியை வைத்துச் சோதித்தால், இரத்த ஓட்டம் எங்கு தடைப்பட்டது என்பதை எளிதில் காணலாம்.

ஒரு நோயாளியின் உடம்பிலுள்ள இரத்தத்தின் அளவையும் காணலாம். நோயாளியின் உடலிலிருந்து சிறிதளவு இரத்தத்தை எடுத்து, கதிரியக்க பாஸ்பரஸ்—32 அடங்கிய கரைசலில் கலக்கப்படுகிறது. பாஸ்பரஸின் ஒரு பகுதி இரத்தத்துடன் கலந்து, இரத்தத்தைக் கதிரியக்கத் தன்மை வாய்ந்ததாக ஆக்கும். இதில் தேவையான அளவு கவனமாக

அளக்கப்பட்டு மீண்டும் நோயாளியின் உடலில் செலுத்தப் படுகிறது. சுமார் இருபது நிமிடங்களில் நோயாளியின் உடலிலுள்ள இரத்தம் முழுவதிலும் இது கலந்துவிடும். இப்போது உடலிலிருந்து மாதிரி இரத்தம் எடுக்கப்பட்டு, கைகர்-முல்லர் எண்ணியால் சோதனை செய்யப்படுகிறது. அதிகக் கதிரியக்கம் இருந்தால், நோயாளிக்குக் குருதியேற்றம் (blood transfusion) தேவை என உணரலாம்.

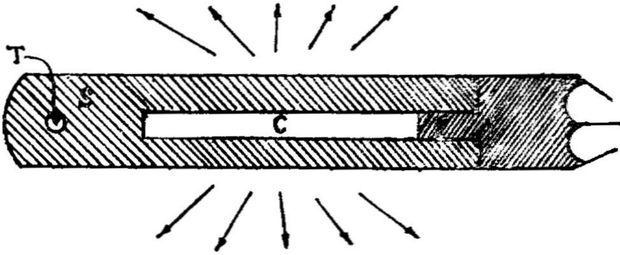
மூளைக் கட்டிகளைக் (brain tumour) கண்டுபிடித்துக் குணமாக்குவது மிகக்கடினம். இக் கடினமான பணியைக் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் எளிமையாக்குகின்றன. மூளைக் கட்டிகள் அயோடினை உட்கவர்கின்றன என்ற உண்மையைக் கொண்டு அவற்றை எளிதில் கண்டுபிடிக்க முடிகிறது. கதிரியக்க அயோடினை (I^{181}) நோயாளிக்கு ஊசிமூலம் செலுத்தினால், மூளைக்கட்டி அதனை உட்கவர்ந்து, காமாக் கதிர்களை வெளிவிடுகிறது. இக் கதிர்களைக்கொண்டு கட்டி இருக்கும் இடத்தை அறியலாம். மேலும், வெளிப்படும் காமாக் கதிர்களே கட்டியின் இழைமங்களையும் (tissues) அழித்து, நோயைக் குணப்படுத்துகின்றன.

அடங்கா வளர்ச்சியைத் தடுத்தல்

புற்றுநோயைக் குணப்படுத்தக் கதிரியக்கம் பயன்படுகிறது என்பது அனைவரும் அறிந்த உண்மை. சாதாரணமாக இருந்தால் தீமையில்லாததாக இருக்கும் இழைமம், கட்டுக்கடங்காமல் வளர்ச்சியடைந்தால் புற்றுநோயாகிவிடுகிறது. இதற்கு உடலினுள் இயற்கையான மாற்று அல்லது முறிவு ஏதுமில்லை. இத்தகு வளர்ச்சியினை மேலும் வளராமல் தடைசெய்து கட்டுப் படுத்த பீட்டா, காமாக் கதிர்கள் உதவுகின்றன. ஆனால், இவை சில குறிப்பிட்ட கழலைகளுக்கே (கட்டிகளுக்கே) பயன் விளைவிக்கின்றன.

புற்றுநோய் சிகிச்சையின்போது, கழலையைச் சுற்றிப் பத்துப் பன்னிரண்டு ரேடியம் ஊசிகள் செருகப்படுகின்றன. அப்போதுதான் தேவையான அளவுக்குக் காமாக் கதிர்வீச்சு அப்பகுதியில் குவியும். ஒரு ரேடியம் ஊசி, படம் 14—1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு திரவத்தில் தொங்கவிடப்படும் ரேடியம் சல்ஃபேட்டு பிரிந்து ரேடான் வாயு—222-யை உண்டாக்குகிறது. இந்த வாயு ஒரு கலத்தில் பிடிக்கப்படுகிறது. இதிலிருந்து காமாக் கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன. ஆல்ஃபா,

பீட்டாத் துகள்கள் ஊசியின் சுவர்களால் உட்கவரப்பட்டு, காமாக் கதிர் மட்டுமே வெளிப்படுகிறது. ரேடியத்திற்கு நீண்ட அரைவாழ்வுக் காலம் (1600 ஆண்டுகள்) இருப்பதால், சிகிச்சை முடிந்தவுடன் இந்த ஊசிகள் அகற்றப்பட வேண்டும். பல்வேறு காரணங்களை முன்னிட்டு, இப்போது ரேடியம் ஊசிகளுக்குப் பதில் வேறு ரேடியோ ஐசடோப்புகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.



படம் 14—1
ரேடியம் ஊசியின் அமைப்பு.
C—ரேடான் உள்ள கலம்: அம்புக் குறிகள் வெளிப்படும் காமாக் கதிர்களைக் குறிக்கின்றன.

இவற்றுள் கதிரியக்க கோபால்டு (Co^{60}), கதிரியக்க பாஸ்பரஸ் (P^{32}) ஆகியவை அடங்கும். மற்றொன்று தங்கம்—198; இதன் அரை வாழ்வுக்காலம் இரண்டரை நாள்களாக இருப்பதால், சிகிச்சை முடிந்தவுடன் இவற்றை நீக்க வேண்டிய அவசிய மில்லை.

உடலினுள் கழலை இருக்கும் பாகத்திற்கு வெளியில் இருந்து காமாக் கதிர்களைப் பாய்ச்சியும் சிகிச்சை செய்யலாம். இதனால், அறுவைச் சிகிச்சை செய்ய வேண்டியதில்லை. ஆனால், இம் முறையில், வெளித்தோலை ஊடுருவிச் செல்லும் வண்ணம் காமாக் கதிர்கள் வலுவுடையனவாக இருக்க வேண்டும்; அவ்வாறு வலுவுடைய காமாக் கதிர் பாய்ச்சப்படும்போது, வெளித்தோல் எளிதில் சேதமடையக்கூடிய அபாயமும் இருக்கிறது.

அயோடினை வாயின் வழியாக உட்கொண்டால், அதனைத் தைராயிடு சுரப்பி உட்கவர்கின்றது. இதைப் பயன்படுத்திப் புற்றுநோயுற்ற தைராயிடு சுரப்பிக்குச் சிகிச்சை தரப்படுகிறது. அயோடினை உட்கவர்ந்த தைராயிடு சுரப்பி காமாக் கதிர்களை வெளிவிடுகிறது. இக் கதிரியக்கக் கதிர்கள் புற்றுநோயுற்ற திசுக்களை அழித்துவிடுகின்றன.

உயிரியல்

உயிரியல் துறையில் (biology) இம் முறையினைக்கொண்டு, உயிர்களின் உடலினுள் இயற்பொருளான உணவுச்சத்து உயிர்ச்சத்தாகவும், உயிர்ச்சத்து மீண்டும் இயற்பொருளாகவும் மாறுபடுகின்ற (metabolism) சிக்கலான தன்மையினை அறிய முடிகிறது.

சில பொருள்களின் கரைதல், ஆவியாதல் ஆகியவற்றின் மதிப்பு மிகவும் குறைவாக இருக்கும்போது, அவற்றின் கரையும் தன்மையையும், ஆவியாகும் தன்மையையும் கண்டறியக் கதிரியக்கம் உதவுகிறது.

வேளாண்மை

பல இனங்களைச் சேர்ந்த செடிகள், பல்வேறு நிலைகளில் கதிரியக்கத்திற்கு உட்படுத்தப்பட்டுப் பல நன்மை தரும் முடிவுகள் பெறப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் காரணமாகப் பூச்சிகள் தாக்காத, அதிக விளைச்சலைத் தரும், பலவிதப் பருவ நிலைகளைத் தாங்கக்கூடியவையுமான கோதுமை, பார்லி, பீன்ஸ், கரும்பு போன்ற பல செடிகள் உருவாக்கப்பட்டு உலகெங்கும் பயிரிடப்படுகின்றன.

செடிகளில் கனிம உணவூட்டம் (mineral nutrition) எவ்வாறு வேரிலிருந்து இலைகள் வரை செல்கின்றன என்பதையும், எவ்வாறு பகிர்வு செய்யப்படுகின்றன என்பதையும், ரேடியோ ஆட்டோகிராஃபி (Radio autography) மூலம் காணலாம். செடியிலிருந்து அல்லது அதன் ஒரு குறிப்பிட்ட பாகத்திலிருந்து வரும் கதிரியக்க வளியை ஒரு புகைப்படத் தட்டில் பதிவு செய்து ஆராய்வதே ரேடியோ—ஆட்டோகிராஃபி முறையாகும். கரும்பில் சல்ஃபேட் எவ்வாறு பகிர்வு பெற்று உள்ளது என்பது இம் முறை மூலம் காணப்பட்டது. பாஸ்ஃபேட் உரத்துடன் கதிரியக்க P^{32} சேர்க்கப்பட்டு, பயிர்கள் எந்த விகிதத்தில் நிலத்திலிருந்தும் செயற்கை உரங்களிலிருந்து பாஸ்ஃபேட் பெறுகின்றன என்பது காணப்பட்டது.

செடிகளின் உணவூட்டத்திற்கு B, Co, Cu, Zn, Mn, M_O போன்ற தனிமங்கள் தேவை என்பது முன்னரே அறியப்பட்டிருந்தது. ஆனால், கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின்னர் தான், இந்தத் தனிமங்கள் எந்தெந்த அளவுகளில் தேவை என்பது காணப்பட்டது.

C^{14} அணுக்கள் அதிகமுள்ள Co_2-வைச் செடிகள் உட்கவரும் படி செய்து ஒளிச்சேர்க்கையை (photosynthesis) ஆராயலாம். கதிரியக்கக் கார்பன் பயன்படுத்தப்பட்டு இத் துறையில் நல்ல முடிவுகள் கிடைத்துள்ளன.

பல காளான் கொல்லிகளில் (fungicides) சல்ஃபர் அடங்கியுள்ளது. S^{35}-வைக்கொண்டு இவை நன்மையானவையா அல்லது தீமையானவையா என்பதைக் கண்டுபிடிக்கலாம். உதாரணமாக, பழங்களைப் பாதுகாப்பதற்காக அவற்றின் தோல்களின்மீது காளான் கொல்லிகளைத் தெளிப்பது வழக்கம். ஆனால், எலுமிச்சைப் பழங்களின்மீது காளான் கொல்லி மருந்துகளைத் தெளித்தால், அவை பழத்தைக் கெடுத்துவிடுகின்றன என்பது S^{35} மூலம் அறியப்பட்டது.

வகை மாற்றம்

கதிரியக்கத்தினால் பலவித வகை மாற்றங்கள் (mutations) ஏற்படுகின்றன. கதிரியக்கத்தில் பெரும்பான்மையானவை உயிரினங்கட்குத் தீங்கு தரத்தக்கவை ; எனினும், செடிகளில் கதிரியக்கம் பட்டால், பல தேவையற்ற வகைமாற்றங்களை ஒழித்து, தேவையான மாற்றத்தை மட்டும் நிலைக்கச் செய்யலாம். கதிரியக்கத்தின் பயனாகப் பல புது வகையான செடிகள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன.

சாதாரணமாகச் செடிகளில் எப்போதுமே மாற்றம் நிகழ்ந்து கொண்டே இருக்கும். தேவையான மாற்றம் நிகழும் வரை பொறுமையோடு காத்திருந்து, பின்னர்ச் செடிகளில் அம் மாற்றம் நிலைத்திருக்கும் வண்ணம் இனக்கலப்பு செய்யப்படுகிறது. சில வேதியியல் பொருள்கள் வகைமாற்றத்தைத் துரிதப்படுத்துகின்றன. ஆனால், கதிரியக்கம் மிக எளிதில் வகை மாற்றத்தைத் தூண்டிச் செயலாக்குகிறது. முழுச் செடிகள் அல்லது அவற்றின் குறிப்பிட்ட பாகங்கள் கதிரியக்கத்திற்கு உட்படுத்தப்பட்டு அவற்றின் கிளைகள் அல்லது தளிர் முனைகளிலிருந்து (Scion) வகைமாற்றம் நிகழ்த்தப்படுகிறது.

இயற்கையாக நிகழ்ந்தாலும், கதிரியக்கத்தால் நிகழ்ந்தாலும் பல வகைமாற்றங்கள் நன்மையற்றனவாக இருக்கின்றன. இவற்றில் சுமார் ஆயிரத்தில் ஒன்றுதான் தேவையானதாக—சிறப்புடையதாக இருக்கும். கதிரியக்கத்தால் இயற்கையாக நிகழ்வதைவிட 50,000 மடங்கு துரிதமாக வகைமாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. எனவே, பயனுள்ள வகைமாற்றங்களைப்

பெருமளவில் பெறமுடிகிறது. அவை பரம்பரைத் தன்மை உடையவை; எனவே, இந்த மாற்றங்களை நிலைக்கச் செய்வதன் மூலம் தொடர்ந்து தேவையான வகைச் செடிகளைப் பெற முடிகிறது.

இவற்றின் ஆய்வுகள் 1920-ம் ஆண்டிலேயே துவங்கிய போதிலும், இரண்டாம் உலகப் போருக்குப் பின்னர்தான் பலரும் இதில் ஆர்வத்துடன் ஈடுபட்டனர். 1952-ம் ஆண்டு புரூக்ஹேவன் (Brook Haven) நகரிலுள்ள தேசிய சோதனைச் சாலையில் 'கூட்டுறவு வகைமாற்றத் திட்டம்' என்ற திட்டத்தின்கீழ் உலகெங்குமுள்ள தாவர இயல் வல்லுநர்கள் ஒன்றுகூடி இதுபற்றிய ஆய்வுகளைப் பரிமாறிக்கொண்டனர்.

வகைமாற்றத்தைத் துரிதப்படுத்தவும், தேவையானதை நிலைக்கச் செய்யவும், கோபால்ட்—60 விருந்து காமாக் கதிர்களும், அணு உலைகளிலிருந்து வெப்ப மற்றும் அதிவேக நியூட்ரான் களும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

ஒளிப்படம்

எக்ஸ் கதிர்களைப் போலக் காமாக் கதிர்களையும் ஒளிப்படத் திற்குப் பயன்படுத்தலாம். எக்ஸ் கதிர்களைப் பாய்ச்சப் பெருங் கருவிகளும் மின்சக்தியும் தேவைப்படுகின்றன. ஆனால், காமாக் கதிர்களுக்குச் சிறிய தோற்றுவாய் போதுமானது; மேலும், இதற்கு மின்சக்தி தேவையில்லை; எனவே, இதனை எங்கும் எளிதில் எடுத்துச் செல்லலாம். ஆனால், காமாக் கதிர்களைத் தேவையில்லாதபோது உடனே நிறுத்த முடியாது. எனவே, இதற்கு வலுக்குறைந்த தோற்றுவாய்கள் நீண்ட நேரத்திற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

பல் வைத்தியத்தில் காமாக் கதிர்கள் பெரும் பயன் தருகின்றன. எக்ஸ் கதிர்களைக்கொண்டு தாடையின் ஒரு பகுதியைத்தான் ஒரு நேரத்தில் ஒளிப்படம் எடுக்க முடியும். எல்லாப் பகுதிகளையும் சோதனை செய்ய, பலமுறை எக்ஸ் கதிர்களைப் பாய்ச்ச வேண்டியிருப்பதால், கதிர்வீச்சுத் தீமை (radiation hazard) உண்டாக்கலாம். வலுக்குன்றிய தோற்றுவாயிலிருந்து காமாக் கதிர்களைப் பாய்ச்சுவதன் மூலம் தாடையின் முழுப்பகுதியையும் படம் எடுத்துவிடலாம். இவ் விதமாக உலோகங்கள் மற்றும் இயந்திரங்களின் பாகங்கள் முதலியவற்றில் இருக்கக்கூடிய உள்வெடிப்புகள் போன்ற வற்றைக் கதிரியக்கத்தினுல் அறியலாம்.

தேவைப்படும் காமாக்கதிர்த் தோற்றுவாய், ஒளிப்படம் எடுக்கப்பட வேண்டிய பொருளின் கனத்தைப் பொறுத்துத் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. கோபால்ட்—60-லிருந்து பெறப்படும் அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த கதிர்கள், 15 செ மீ. கனமுள்ள இரும்பையும் ஊடுருவிச் செல்லும் தன்மை வாய்ந்தவை. எனவே, இவை தொழில் துறைகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. தாலியம்-170-லிருந்து பெறப்படும் குறைந்த ஆற்றல் வாய்ந்த கதிர்கள், மருத்துவத்துறைக்கு ஏற்றவையாக விளங்குகின்றன.

ஒளி விளக்க மூலங்கள்

ஓர் ஒளிரும் பொருளுடன் ஒரு கதிரியக்க ஐசடோப்பைச் சேர்த்தால், மின்சக்தி இல்லாமலே ஓர் ஒளிமூலம் கிடைக்கும். இந்த ஒளி மங்கலாகத்தான் இருக்கும். பத்து ஆண்டு அரை ஆயுள் உள்ள, பீட்டாத் துகள்களை வெளிவிடும் கிரைப்டான்-85 (krypton-85) உள்ளடங்கிய ஒளிரும் தன்மையுடைய ஸிங்க் சல்ஃபைடு பூசப்பட்ட குழாய்களிலிருந்து ஒளி கிடைக்கிறது. இது வெற்றிகரமாக நிலக்கரிச் சுரங்கங்களிலும், வானூர்தி ஏற்ற இறக்க ஓடுபாதைகளிலும் (runways) பயன்படுத்தப்பட்டு வருகிறது.

சில கைக்கடிகாரங்களில் பூசப்பட்ட ஒளி வண்ணங்கள் ரேடியம் புரோமைடும் (Radium Bromide) ஸிங்க் சல்ஃபைடும் கலந்த கலவையாகும். இதனால், கடிகாரங்களில் நேரத்தை இரவிலும் வேறு எவ்வித ஒளியுமில்லாதபோதும் காண முடிகிறது இயற்கையாக ஆல்ஃபாத் துகள் வெளிவிடும் கதிரியக்கப் பொருளுடன் பாஸ்பரைச் சேர்த்தால் இத்தகைய ஒளிரும் விளக்குகள் கிடைக்கின்றன. பீட்டாத் துகள் தோற்றுவாய்களான டிரைஷியம், கார்பன்-14, ஸ்ட்ராண்டியம்-90, பிராமெதியம்-147 ஆகியவையும் இதற்காகப் பயன்படுகின்றன.

செயலூக்கப் பகுப்பாய்வு

அனேகமாக எல்லாத் தனிமங்களையும் கதிரியக்கத் தன்மை வாய்ந்தனவாக மாற்றிவிடலாம். தனிமத்தின் மாதிரியை அணு உலையினுள் வைத்தால், அது அங்கு அதிவேக நியூட்ரான்களால் தீவிரமாகத் தகர்த்துத் தாக்கப்படும். இதனால் அணுவின் ஒரு பகுதி நியூட்ரான்களை உட்கவர்ந்து கதிரியக்க ஐசடோப்பாக மாறுகிறது. இந்த ஐசடோப்புகள் தமக்கெனத் தனிப் பண்புகளை உடையனவாக விளங்கும். அவை வெளிவிடும் காமாக் கதிர்களின் அலை நீளங்களை அளப்பதன் மூலமும்,

அவற்றின் அரைவாழ்வுக் காலத்தைக் கணக்கிடுவதன் மூலமும், தனித்தனி ஐசடோப்புகளை அடையாளம் காணலாம். இந்த ஆய்வுக்குச் 'செயலூக்கப் பகுப்பாய்வு' (activation analysis) எனப் பெயர்.

தனிமங்களின் கலவையைக் கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்தினால், வெவ்வேறு தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம் கிடைக்க வேண்டும். எனவே, ஒரு மாதிரியில் உள்ள தூசுகளின் சிறிய அளவையும் கண்டுணரலாம். அத் தூசுகளைக் கதிரியக்க ஐசடோப்புகளாக மாற்றலாம். இது மற்ற சாதாரண முறைகளைவிட கோடி மடங்கு உணர்வுநுட்பம் வாய்ந்த முறையாகும். இம் முறையில் 10^{-12} கிராம் நிறையுள்ள மிகச்சிறிய பொருள்களைக்கூடச் சிறிதும் சேதமில்லாமல் ஆராயலாம்.

அருமண் உலோகங்களில் (rare earth metals) கலவைகளைப் பகுப்பாய்வு செய்வதற்கும், இரும்பிலுள்ள காலியம் (gallium), நிக்கலில் (nickel) உள்ள செம்பு, ஸிர்கானியத்தில் (Zirconium) உள்ள ஹாஃப்னியம் (hafnium) ஆகியவற்றைக் கண்டுணரச் செயலூக்கப் பகுப்பாய்வு பயன்படுகிறது.

வேதியியல்

பகுப்பாய்வு வேதியியல், மின் வேதியியல், கூழ்வேதியியல் போன்ற பல்வேறு வேதியியல் துறைகளிலும் கதிரியக்கத்தின் பயன் நன்கு உணரப்பட்டுள்ளது. பென்ஸீன் (Benzene), ஹைட்ரோகார்பன் ஆகியவற்றில் நீர் மிகமிகச் சிறு அளவில் கரைகிறது. கரையும் அளவைச் சாதாரண இயற்பியல், வேதியியல் முறைகளில் அளவிட முடியாது. நீருடன் கதிரியக்க டிரைஷியம் (H^3) சிறிதளவு சேர்க்கப்பட்டால், இறுதியில் கிடைக்கும் கலவையின் இயக்கத்தை அளந்து, நுண்ணிய அளவுகளைக் கணக்கிடலாம். பல்வேறு அங்ககக் கரைப்பான்களில் கரைபொருள்கள் கரையும் அளவை இவ்விதம் காணலாம். புரோட்டீன் நீராற்பகுவின் (Protein hydrolysis) விளைபொருள்களில் உள்ள கிளைசீனின் (glycene) அளவைக் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் மூலம் காணலாம்.

மின்வேதியியலில் அயனிகளின் பிரிகை (dissociation) பற்றியும், பரிமாற்றம் (interchange) பற்றியும் அறியக் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் உதவுகின்றன.

கூழ் வேதியியலின் (colloid chemistry) சில அடிப்படைத் தத்துவங்களை உறுதிப்படுத்தக் கதிரியக்கம் உதவியுள்ளது.

கதிரியக்க ஐசடோப்புகளைக்கொண்டு 'விரவல் விதம்' (rate of diffusion) நிர்மானிக்கப்படுகிறது. உதாரணமாக, ஈயத்துடன் தோரியம் B கலக்கப்பட்டு, இந்தக் கலவை, கதிரியக்கம் இல்லாத ஈயக்கட்டியின்மீது விரவல் பெறுமாறு செய்யப்பட்டு, 340°C வெப்ப நிலையிலுள்ள ஈயத்தின் விரவல் வீதம் காணப்பட்டது.

வேதியியற் பகுப்பாய்வு

வேதியியற் பகுப்பாய்வில் (Chemical analysis) கதிரியக்கம் நல்ல பலன் தந்துள்ளது. கரையும் உப்புகளின் கரைதிறனைக் (Solubility) காண, சுவடு அறியும் முறை உதவுகிறது. இதே போலப் பரப்புக் கவர்ச்சியின் (adsorption) எல்லையையும் காணலாம்.

ஓர் இரசாயன முறையின் முன்னேற்றத்தையும் முழுமையையும் காணலாம். உதாரணமாக, பெரிலியம் இல்லாத அலுமினியம் 8 ஹைட்ராக்சிகுனோலினின் (hydroxyquinoline) வீம்படிவின் PH-ஐக் காணக் கதிரியக்க Be பயன்பட்டுள்ளது. கதிரியக்க ஐசடோப்புகளைக்கொண்டு முழு வீம்படிவையும் சோதனை செய்யலாம். எதிரான இரசாயன இடையீட்டுச் செயல்களைச் சமப்படுத்துவதுதான் வேதிச் சமநிலை (Chemical equilibrium) என்பதைச் சுவடு அறியும் முறை தெளிவாக்கியுள்ளது. இம் முறை கொண்டு, ஓரளவே தெரிந்த தனிமத்தின் பகுப்பாய்வு இடையீட்டுச் செயல்களை எளிதில் ஆராயலாம். ஆக்டினியத்தின் கதிரியக்க ஐசடோப்பான மெசாதோரியம் (mesothorium) கொண்டு, அதன் முழு இரசாயனத்தையும் எளிதில் கண்டறியலாம்.

தொழில் துறை

பூமிக்கு அடியிலுள்ள குழாய்களின் வழியே ஓடும் நீரைச் சோதனை செய்ய, அக் குழாயினுள் ஒரு சிறிய காமாக்கதிர் வெளிவிடும் பொருள் கொண்ட (emitter) கருவி செலுத்தப்படுகிறது. காமாக் கதிரின் ஊடுருவும் தன்மை காரணமாக, பூமிக்கு மேலே உள்ள கைகர்—முல்லர் எண்ணியின் உதவியால் இதனைச் சோதனை செய்யலாம். பூமிக்கு அடியிலுள்ள சாக்கடை நீர்க்குழாயில் அடைப்பு எந்த இடத்தில் ஏற்பட்டிருக்கிறது என்பதைக் கண்டுபிடிக்க, சோடியம்-24 அடங்கிய சிறிய ரப்பர்ப் பந்து ஒன்றினைக் குழாயினுள் உருளவிட்டால் அது சென்று நிற்கும் இடத்தினை, பூமிக்கு மேலே உள்ள கைகர்—முல்லர் எண்ணியால் கண்டுபிடித்துவிடலாம். நிலத்திற்கு அடியிலுள்ள

குடிநீர்க் குழாயில் கசிவு (leakage) ஏற்பட்டுவிட்டால், சோடியம்-24-ன் பைகார்பனேட்டு கரைசலை நீரோடு சேர்த்துவிட்டால், கசிவுக்கு அருகிலுள்ள இடத்தில். அதிகத் துடிப்பு இருப்பதைக் கைகர்-முல்லர் எண்ணியில் காணலாம். கண்டுணர் கருவிகள் மிகவும் உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்தவையாக இருக்கும்; அவை மிகச்சிறிய கதிரியக்கத்தையும் பதிவு செய்யும் தன்மை வாய்ந்தவையாக இருக்கும். இல்லையென்றால், குடிநீர்க் குழாய்களில் அதிகச் சக்தியுள்ள ஐசடோப்புகளைக் கலந்தால், அவை நீரின் தூய்மையைக் கெடுத்துவிடும். இதே போலக் காற்று, எண்ணெய் முதலியன செல்லும் நீண்ட குழாய்களிலுள்ள கசிவையும் காணக் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் பயன்படுகின்றன.

கதிரியக்கத் தனிமங்களின் ஊடுருவும் சக்தி வாய்ந்த கதிர்களைக்கொண்டு, மூடிய தொட்டிகளில் உள்ள எண்ணெய் மட்டங்களையும், வேறு திரவ மட்டங்களையும், தொட்டிகளைத் திறக்காமலே கண்டறியலாம். பற்றவைப்புகள், வார்ப்புகள் முதலியவற்றில் உள்ள குறைகளையும் கண்டறியலாம். வண்ணங்கள், மை, பவுடர்கள், பிளாஸ்டிக் பொருள்கள் ஆகியவற்றில் கலக்கப்படும் பொருள்களுக்கான உகந்த நேரங்களை (Optimum time) கணக்கிடலாம்.

கன அளவிகள்

ஒரு பொருளின் துடிப்பையும் அடர்த்தியையும் பொறுத்து, அப் பொருளின் வழிச்செல்லும் கதிர்கள் உட்கவரப்படுகின்றன. இத் தன்மையைப் பயன்படுத்தித் தொழிற்சாலைகளில் பொருள்களின் தடிமன் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. காகிதத் தொழிற்சாலைகளில், காகிதம் தயாரிக்கப்படும்போது அதன் தடிப்பு சீராக இருக்கிறதா எனத் தெரிந்துகொள்ளக் கதிரியக்கம் பயன்படுகிறது. காகிதத் தயாரிப்பின்போது இயந்திரத்தை நிறுத்தாமலே, தடிமன் காணப்படுகிறது. மேலும் காகிதத்தைத் தொடாமல் இருப்பதால், காகிதம் தூய்மையான வெள்ளை நிறத்துடன் வெளிவருகிறது. தியணைக்கும் கருவி போன்ற மூடப்பட்ட கலத்தினுள், உள்ளிருக்கும் திரவம் சரியான அளவுக்கு இருக்கிறதா என்பதையும் இந்த முறையில் கண்டறியலாம்.

கதிர்கள் ஊடுருவிச் செல்வதால் பொருள்களின் இரு பக்கமும் சோதனை செய்யத்தக்கனவாக இருக்க வேண்டும் அவ்வாறு இல்லாவிட்டால், பீட்டாத் துகள்களின் பின்சிதறலை

அடிப்படையாகக்கொண்ட முறை கையாளப்படுகிறது. உபயோகத்தில் இருக்கும் நீராவிக் கலனின் சுவர்களை இம் முறையில் சோதித்து, அதன் வெளிச் சுவர்களுக்குத் தாங்கக் கூடிய சக்தி இருக்கிறதா என்பதை அவ்வப்போது அளவிடலாம். கொதிகலங்களின் சுவர்களில் காற்றுக் குமிழ்கள் (air bubbles) போன்ற பழுதுகள் இருப்பின் அவை மிக ஆபத்தானவை. நீராவி அதிக அழுத்தத்தில் தயாரிக்கப்படும்போது, பழுதுற்ற இடத்தில் வெடிப்பு உண்டாகி, கொதிகலம் வெடித்து, பெரும் சேதமுண்டாகலாம்; அருகில் உள்ளவர்களின் உயிர்களுக்கும் இழப்பு நேரிடலாம். எனவே, இத்தகைய கலங்களில் பழுதில்லாமல் பார்த்துக்கொள்வது அவசியம். கொதி கலனுக்குள் காமாக் கதிர் வெளிவிடும் கதிரியக்க ஐசடோப்பை வைத்து, வெளிச் சுவரைச் சுற்றி ஒளி உணர் காகிதத்தை வைத்தால், கலனிலுள்ள பழுதான இடங்கள் தெரியவரும்.

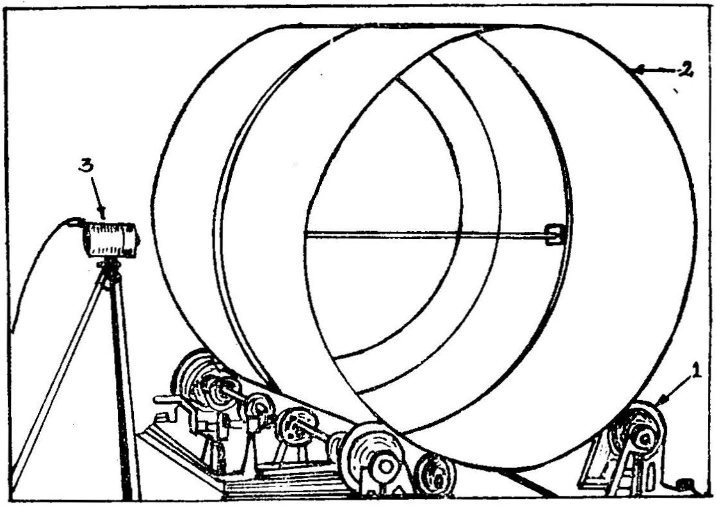
இயந்திர ஊர்திகளில் (Vehicles) ஊடியங்கு தண்டு (பிஸ்டன்) எஃகால் ஆனது. இது எவ்வாறு தேய்கிறது என்பதைக் காண ஒரு வழி உள்ளது. ஊடியங்கு உருளையை அணு உலையில் சிறிது நேரம் வைத்து, எஃகைக் கதிரியக்க முள்ளதாக்கி, அதனை ஊர்தியில் பொருத்தி இயக்குகின்றனர். பின்னர், இயந்திரத்தில் உள்ள மசகு எண்ணெயை (lubricating oil) எடுத்து, அதில் எவ்வளவு கதிரியக்கம் உள்ளது என அளந்தால், ஊடியங்கு உருளை எவ்வாறு தேய்ந்துள்ளது என்பது தெரியவரும்.

காமா ரேடியோகிராஃபி

கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் பொறியியலில் மிகுதியாகப் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. இரும்பு, அலுமினியம், மக்னீசியம், டிட்டானியம் ஆகிய உலோகக் கலவைகளால் செய்யப்பட்ட பொருள்களின் தேவையான தடிமனைக் கண்டுபிடிக்க காமா ரேடியோகிராஃபி (Gamma radiography) எனும் முறை பயன் படுகிறது. 60 முதல் 80 மி.மீ. தடிமனுடைய சுவர்களையுடைய உலோகங்கள், இணைப்புகள், வார்ப்புகள் ஆகியவற்றை Eu^{155}, Tu^{170}, Eu^{152}, Se^{75}, Ir^{192}, Cs^{137} ஆகிய ஐசடோப்புகளைக்கொண்டு மேற்பார்வையிடலாம். உலோகத்தின் தடிமனையும், அடர்த்தி யையும் பொறுத்து அவற்றிற்கான ஐசடோப்புகள் தேர்ந் தெடுக்கப்படுகின்றன. மெல்லிய சுவர்களையுடைய உலோகங் களுக்கு Tu^{170}, Eu^{155} போன்றவையும், சற்றுத் தடிமனுள்ள சுவருடைய உலோகங்களுக்கு Cs^{137}, Eu^{152}, Ir^{192} போன்றவையும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பற்றவைப்பு மூலம் உருளை வடிவில்

செய்யப்பட்ட பொருளை, காமா ரேடியோகிராஃபி மூலம் மேற் பார்வையிடும் முறை படம் 14—2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

உலோகங்களிலுள்ள குறைபாடுகளைக் காண்பதற்கேற்ற உணர்வுநுட்பமுடையனவாகவும், பழுது காணும் திறன் மிக்கவையாகவும், பொருளை எவ்விதத்திலும் சேதப்படுத் தாதவையாகவும் ஐசடோப்புகள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன. தற்காலத்தில், கீழ்க்காண்பவற்றிற்குக் காமா ரேடியோகிராஃபி பயன்படுகிறது.



படம் 14—2

உருளை வடிவிலுள்ள பொருளைக் காமா ரேடியோகிராஃபி முறையினுல் மேற்பார்வையிடும் தன்மை.

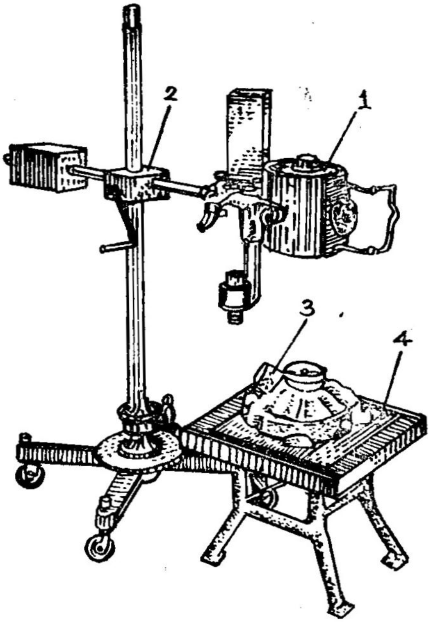
1—தாங்கி ; 2—பற்றவைப்பு செய்யப்பட்ட உருளைவடிவச் சோதனைப் பொருள் ; 3—கதிரியக்கத் தோற்றுவாயைக்கொண்ட கணக்கிடும் கருவி.

1. எக்ஸ் கதிர்களால் மேற்பார்வையிட இயலாத, தடித்த உலோகங்கள்.

2. சிக்கலான முறையில் சேர்க்கப்பட்ட கருவிகள், பற்ற வைப்பு மூலம் இணைக்கப்பட்ட பொருள்கள்.

3. பெரிய உருளை, பெரிய கோள வடிவிலுள்ள பொருள் களின் வட்ட வடிவமான பற்றவைப்புகள்.

காமா ரேடியோகிராஃபி மூலம் பொருள்களை மேற் பார்வையிடப் பலவிதக் கருவிகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. இவற்றை நிலையாக ஒரே இடத்தில் வைத்தோ அல்லது தேவைப் பட்ட இடங்களுக்குக் கொண்டுசென்றோ மேற்பார்வையிடலாம். இவற்றை இயக்குபவருக்குத் தீங்கு நேராமலிருக்க 10 செ.மீ க்குக் குறைவில்லாத தடிமனுடைய ஈயச்சுவர்கள் உள்ளன. இவற்றின் ஒரு வகையைப் படம் 14-3-ல் காணலாம். இதன்



படம் 14—3

பல பொருள்களை ஒரே நேரத்தில் மேற்பார்வையிடக்கூடிய கருவி

1—கதிரியக்கத் தயாரிப்பு உள்ள கொள்கலம்; 2—தோற்றுவாய்க்கும் புகைப்படச் சுருளுக்கும் (film) உள்ள தூரத்தை மாற்றும் அமைப்பு; 3—மேற்பார்வையிடப்படும் பொருள்; 4—புகைப்படத் தட்டு.

இக் கருவி தகுந்த மின்சுற்றுடன் இணைக்கப்படுகிறது.

மூலம் செலுத்தப்படும் காமாக் கதிரைக்கொண்டு ஒன்று அல்லது பல பொருள்களை ஒரே நேரத்தில் மேற்பார்வையிடலாம். இதிலுள்ள கொள்கலத்தில் கதிரியக்கத் தயாரிப்பு வைக்கப் பட்டுள்ளது. அதிலிருந்து காமாக் கதிர்கள் பென்சில் கற்றையாக வெளிவருகின்றன. கொள்கலத்திலிருந்து கதி

ரியக்கத் தயாரிப்பை வெளிக்கொணரவும், மீண்டும் உள்ளே கொண்டுசெல்லவும் தனியாக ஓர் இயந்திரக் கருவி செயற்படுகிறது. பெரிய தொழிற்சாலைகளில் ஒரே மாதிரியான பொருள் ஆயிரக்கணக்கில் தயாரிக்கப்படும்போது, அவற்றில் பலவற்றை ஒரே நேரத்தில் வைத்து, பழுதில்லாமல் இருக்கின்றனவா எனக் கண்காணிக்க இக் கருவி உதவுகிறது.

காலத்தைக் கணக்கிடல்

தொல்பொருள் ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கு கார்பன்—14 மிகவும் பயனுள்ளதாக விளங்குகிறது. இதற்குக் கார்பன்—14-ன் சிதைவு வீதம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. வளிமண்டலத்தில் நியூட்ரான், நைட்ரஜன் ஆகியவை எதிர்த்து மோதுவதால் கார்பன்-14 தொடர்ந்து உண்டாகிறது. கார்பன்-14 கதிரியக்கத் தன்மை வாய்ந்தது; அதன் அரைவாழ்வுக் காலம் 5700 ஆண்டுகள். இது மீண்டும் நைட்ரஜனாக மாறுகிறது.

$$_{6}C^{14} \rightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{-1}e^{0}$$

இதில் $_{-1}e^{0}$ என்பது, எலெக்ட்ரானைக் குறிக்கிறது. காலக் கிரமத்தில் இயக்கச் சமநிலை ஏற்பட்டு, வளிமண்டலத்தில் உள்ள கார்பன்-டை-ஆக்சைடில் இருக்கும் கார்பன்—14-ன் விகிதம் மாறாமல் ஆயிரக்கணக்கான ஆண்டுகளாக நிலையாக இருக்கிறது.

வளிமண்டலம், கடல், உயிர் வாழ்வன ஆகியவற்றின் பரிமாற்று வீதம் மிக விரைவில் நிகழ்கிறது. வாழும் பொருள்களிலுள்ள கார்பனின் தன்வினை (specific activity) ஒரே மாதிரியாக இருக்கும் எனக் காணப்பட்டுள்ளது. காஸ்மிக் கதிர் நியூட்ரானின் செறிவு பல்லாயிரக்கணக்கான ஆண்டுகளாக மாறிலியாகவும், ஆராயப்பட வேண்டிய மாதிரி அதைவிடப் புதிய அல்லது பழைய கார்பனால் மாசுபடுத்தப்படாததாகவும் இருக்கிறது எனக்கொண்டு, மாதிரியில் உள்ள கார்பன்-14-ன் தன்வினையை அளந்து, கார்பன்-14-ன் அரைவாழ்வுக் காலத்தைப் பயன்படுத்தி, ஆராயப்படும் மாதிரியின் வயதைத் தீர்மானிக்கலாம்.

அண்மையில் வளி மண்டலத்திலிருந்து கார்பன்-டை-ஆக்சைடை உட்கவர்ந்த வாழும் பொருளில், நிலையான ஐசடோப்புடன் கார்பன்-14 ஒரு குறிப்பிட்ட விகிதத்தில் கலந்திருக்கும்; இதனால் ஒவ்வொரு கிராம் கார்பனும் ஒரு நிமிடத்திற்கு 15-க்கும் மேற்பட்ட முறைகள் சிதைவடைகிறது.

கார்பனின் அரைவாழ்வுக் கணக்கிலிருந்து இந்தச் செயல் 80 ஆண்டுகளுக்கு 1 சதவிகிதம் குறைகிறது எனக் காணலாம். எனவே, மாதிரிப் பொருள்களில் கார்பனின் செயலை அளப்பதன் மூலம் அப் பொருளின் காலத்தைக் கணக்கிடலாம் (dating). இம் முறையில் 600 ஆண்டுகள் முதல் 40,000 ஆண்டுகள் வரை முற்பட்ட பொருள்களின் வயதை ஓரளவுக்குத் துல்லியமாகவே கணக்கிடலாம்.

மேற்கண்ட முறையில் மரம், ஓலைச்சுவடி ஆகியவற்றின் வயதையும் கணக்கிடலாம். எகிப்தியர்கள் பழங்காலத்தில் உயிரற்ற உடல்களை மரப்பெட்டிகளில் பதனப்படுத்தி வைத்திருந்தனர். கதிரியக்கத்தின் மூலம் ஆராயப்பட்டபோது, அவை 3500 ஆண்டுகளுக்கு முந்தியவை எனக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டன. செடி கொடிகள் காற்றிலிருந்து கார்பன்-டை-ஆக்சைடை உட்கவர்வதாலும், விலங்குகள் செடிகொடிகளை உண்பதாலும், விலங்குகளின் முடி, தோல், கம்பளி முதலியவற்றிலிருந்தும் காலக் கணக்கை அறியலாம்.

சரித்திர, நிலவியல் ஆய்வுகளில் காலங்களை நிர்ணயிப்பதற்கு, நீண்ட வாழ்வுடைய ரேடியோ நியூக்ளைடுகள் சிதைவு எண் தெரிந்திருப்பது அவசியம். உதாரணமாக, ஸ்ட்ரான்டியம்—87 ஆகச் சிதைவுறும் ருபீடியம்—87-ன் அரைவாழ்வு $4 \cdot 7 \times 10^{10}$ ஆண்டுகள் ஆகும். எனவே, ருபீடியம் அடங்கிய பாறையைச் சோதித்து, Rb^{87}/Sr^{87}-ன் விகிதத்தைத் தீர்மானித்தால், அப் பாறையின் வயதைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். இது, பாறை உருவானதிலிருந்து அளவீடு செய்யும் வரை, கசிவு மூலம் அணுக்கள் வெளியேறவில்லை என்ற தற்கோளை அடிப்படையாகக்கொண்டது. பொட்டாசியம்—40 & ஆர்கன்—40, யுரேனியம்—238 & ஈயம்—206 ஆகியவை இத்தகைய கால நிர்ணயங்களுக்குப் பயன்படுத்தப்படும் வேறுசில ரேடியோ நியூக்ளைடு இரட்டைகளாகும்.

மிகக்குறுகிய (அதாவது, 12·3 ஆண்டுகளே) அரைவாழ்வுக் காலமுடைய ஹைட்ரஜன்-3-ம் காலத்தை நிர்ணயிப்பதற்குப் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. கார்பன்-14ஐப் போலவே, காஸ்மிக் கதிர் வன்தாக்குதல்களால் (bombardment) வளிமண்டலத்தில் ஹைட்ரஜன்-3-ம் உண்டாக்கப்படுகிறது. N^{14} (n, H^3) C^{12}. வடிகட்டிய ஸ்பிரிட்டுகளின் (spirit) மாதிரிகளில் இது நிறையக் காணப்பட்டுள்ளது. இதன் மூலம் இத்தகைய குடிவகைகளின் காலம் கணக்கிடப்படுகிறது.

புவியின் வயது

புவியின் வயதைக் (age of the earth) கணக்கிடக் கதிரியக்கம் கீழ்க்கண்ட முறையில் பயன்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது.

U^{238} தொடர் யுரேனியத்தில் தொடங்குகிறது. யுரேனியத்தின் அரைவாழ்வுக் காலம் 4·5 நூறுகோடி ஆண்டுகள். அதன் சிதைவு மாறிலி, அத் தொடரின் மற்றெந்தத் தனிமத்தின் சிதைவு மாறிலியையும்விட ஆயிரத்தில் ஒரு பங்குக்கும் குறைவானது. காரீயம் (Pb^{206}) நிலையானது; அதன் அரை வாழ்வுக் கால அளவு முடிவிலாதது (infinity); அதன் சிதைவு மாறிலி சுழியாகும். எனவே, நூறுகோடி ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு இப் புவியில் யுரேனியமும் காரீயமுந்தான் கணிசமான அளவுக்குக் கிடைக்கும் தனிமங்களாக இருக்கும். எனவே, இத் தொடரில் உள்ள எல்லாத் தனிமங்களுக்கும்—முதல் தனிமமான யுரேனியத்திற்கும், கடைசித் தனிமமான காரீயத்திற்கும்

$$N_2 = \frac{N_0 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right] \qquad — (1)$$

என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால், λ_2 என்பது காரீயத்தின் சிதைவு மாறிலி (= 0) ஆக இருப்பதால்,

$$N_{Pb} = N_{0u} \left(1 - e^{-\lambda_u t} \right) \qquad — (2)$$

எனக் கிடைக்கும். இதில் λ_u என்பது, U^{238}-ன் சிதைவு மாறிலியாகும்.

யுரேனியக் கதிரியக்கத் தொடரில் காரீயந்தான் கடைசித் தனிமமாக இருப்பதால், U^{238} தாதுவில் எப்போதும் Pb^{206} அடங்கியிருக்கும். இக் காரணத்தால்தான் யுரேனியமும் காரீயமும் எப்போதும் ஒன்றாகக் காணப்படுகின்றன. எனவே, இப்போதுள்ள யுரேனியம் அணுக்களையும் காரீய அணுக்களையும் கூட்டினால் முதலில் இருந்த மொத்த யுரேனியம் அணுக்களின் எண்ணிக்கை கிடைக்கும். எனவே,

$$N_{Pb} + N_u = N_{0u} \qquad — (3)$$

இப்போது உள்ள Pb^{206}, U^{238} ஆகியவற்றின் அளவைச் சோதனைகள் மூலம் கண்டுபிடித்துவிடலாம். முதலில் இருந்த யுரேனியத்தின் மொத்த அளவு நமக்குத் தெரியாததாகையால் அதனை இரண்டாவது சமன்பாட்டிலிருந்து நீக்குவதற்கு,

$$N_u = N_{0u}\, e^{-\lambda_u t}$$

எனவே, $N_{pb}\, e^{-\lambda_u t} = N_u \left(1 - e^{-\lambda_u t}\right)$

$$e^{-\lambda_u t}\left[N_{pb} + N_u\right] = N_u$$

$$e^{-\lambda_u t} = \frac{N_u}{N_{pb} + N_u}$$

$$t = \frac{1}{\lambda_u} \ln\left(\frac{N_{Pb} + N_u}{N_u}\right) \qquad — \quad (4)$$

இதில் உள்ள t என்ற காலந்தான், நம் புவி திடப்பொருளாக மாறி, பாறைகளில் முதலில் யுரேனியம் இருந்த காலமுமாகும். நமது கணக்கில் பல தற்கோள்கள் (assumptions) இருக்கின்றன; எனினும், நாலாவது சமன்பாடு, புவியின் பல்வேறு இடங்களில் இருந்த வேறு பல கனிப் பொருள்களுக்கும் பயன்படுத்தப்பட்டு, எலா முடிவுகளும் கிட்டத்தட்ட சமமாக இருப்பது தெரிந்துள்ளது. இவற்றிலிருந்து புவியின் வயது நான்கு கோடி ஆண்டுகள் எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

கதிரியக்க முறைகள் வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகியவற்றைச் சாராமல் இருப்பதால் புவியியல் வரலாற்றில் இவை முக்கிய இடம் வகிக்கின்றன. இவை நல்ல காலங்காட்டிகளாகவும் (clocks) விளங்குகின்றன.

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்

(Bibliography)

1. *Atomic and Nuclear Physics*—K. Gopalakrishnan.
2. *Atomic Physics*—J. B. Rajam.
3. *Beta and Gamma Ray Spectroscopy*—K. Siebaghn.
4. *Environmental Radioactivity*—Merril Eisenbud.
5. *Fundamental Concepts of Inorganic Chemistry* —Esmarch S. Gilbreath.
6. *Industrial Radiology*—S. Rumyantsen.
7. *Introduction to Atomic and Nuclear Physics*—Otto Oldenburg.
8. *Modern Physics*—J. B. Rajam.
9. *Modern Physics* — W. K. Seghal, K. L. Chopra, D. L. Seghal.
10. *Nuclear Chemistry*—Brijesh Kishore Sharma
11. *Nuclear Physics*—Irving Kaplan.
12. *Nuclear Spectroscopy*—F. Ajzenberge.
13. *Nuclear and Radiochemistry*—Friedlander and Kennedy
14. *Physics of the Atom*—Wehr-Richards
15. *Radiations from Radioactive Substances*—Rutherford, Chadwick and Ellis.
16. *Radioactive Substances and Their Radiations* —Rutherford.
17. *Radioactivity and Its Measurement*—Wilfrid B. Mann and S. B. Garfinkell.
18. *Table of Isotopes*—Strominger, Hollander and Seaborg.
19. *The Atomic Nucleus*—R. D. Evans.
20. *The Particles of Modern Physics*—J. D. Stranathan.
21. *The Transuranium Elements*—G. T. Seaborg.

கலைச்சொற்கள்

அ

அகவாயுக் கணிப்பு முறை — Internal gas counting
அங்ககத் திரவங்கள் — Organic liquids
அடிப்படை — Concept
அடிப்படைத் துகள் — Fundamental particle
அணி மூலகம் — Matrix element
அணு ஆற்றல் மட்டம் — Atomic energy level
அணு உலை — Nuclear reactor
அணு உலை அடுக்கு — Atomic reactor pile
அணு எடை — Atomic weight
அணு மாலைகள் — Atomic spectra
அணுக்கரு அணு அமைப்பு — Nuclear atom model
அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டம் — Nuclear energy level
அணுக்கரு ஒளிமின் விளைவு — Nuclear photoelectric effect
அணுக்கரு ஐசோமர் — Nuclear isomer
அணுக்கருப் பசை — Nuclear emulsion
அதி ஆற்றல் இயற்பியல் — High energy physics
அமைதிநிலை நிறை — Rest mass
அயனியாக்க எண் — Specific ionisation
அருமண் உலோகங்கள் — Rare earth metals
அரைமடக்கைக் காகிதம் — Semilog paper
அரைவாழ்வுக் காலம் — Half life period
அலை இயக்கவியல் — Wave mechanics
அலைந்து திரிதல் — Straggling
அழிவு — Annihilation
அழுத்தமானி — Manometer
அழுத்த மின்படிகம் — Piezo electric crystal
அழுத்த-மின் விளைவு — Piezo electric effect
அளவியலான — Quantitative
அனுமதிக்கப்பட்ட கடந்து செல்கை — Allowed transition

ஆ

ஆகர் எலெக்ட்ரான் — Auger electron
ஆக்டினியம் — Actinium
ஆடி நியூக்ளைடு — Mirror nuclide
ஆடொனைட் — Autonite
ஆட்டோ ரேடியோகிராஃபி — Autoradiography
ஆல்ஃபாக் கதிர் நிறமாலை — Alpha ray spectrum
ஆற்றல் சரியீடு — Energy balance
ஆற்றல் மட்ட மாற்றம் — Transmission

இ

இடப்பெயர்ச்சி விதி — Displacement law
இடைத் திரை — Diaphragm
இடையீட்டுச் செயல் — Interaction
இணைத்தட்டு மின்தேக்கி — Parallel plate condenser
இணைமாற்றுத் தடிப்பு — Equivalent thickness
இயக்குதிறம் — Efficiency

ஈ

ஈடுசெய்தல் — Compensate
ஈட்டம் — Gain

உ

உகந்த நேரம் — Optimum time
உடனொத்த வரிசைகள் — Collateral series
உட்கவர்தல் — Absorption
உணர்வு நுட்பம் — Sensitivity
உயிரியல் துறை — Biology
உருமாற்றக் கொள்கை — Theory of Transformation
உருவிளக்கப்படுத்தல் — Develop
உள்ளார்ந்த கோண உந்தம் — Intrinsic angular momentum
உள்ளுறைப் படிமம் — Latent image
உள்நிலை மாற்றம் — Internal conversion

ஊ

ஊடியங்கு உருளை — Piston

எ

எச்சமுறுதல் — Residue
எண்ணி — Counter
எதிர்மின் கதிர் — Cathode ray
எதிர்மின் கதிர் ஆசிலகிராஃப் — Cathode ray oscillograph
எலெக்ட்ரானிய மின்னூட்டம் — Electronic charge
எல்லைப்படுத்தப்பட்ட விகிதத் தன்மை — Limited proportionality

ஏ

ஏற்புத்தன்மை — Reception

ஐ

ஐசடோப்பு — Isotope
ஐசோபார் — Isobar
ஐசோமெரிக் கடந்துசெல்கை — Isomeric transition

ஒ

ஒப்பு வாய்ப்பு — Relative probability
ஒருங்குநிகழ்வு உத்தி — Coincidence technique
ஒருபடித்தான — Homogenious
ஒரே மதிப்புடைய மாற்றங்கள் — Isobaric transformation
ஒளிச்சேர்க்கை — Photosynthesis
ஒளிர்வு — Flourescence
ஒளிப்புள்ளி — Flash
ஒற்றை ஆற்றலுள்ள — Mono energetic

ஃ

ஃபேரடே சேகரிப்பான் — Faraday collector
ஃபோட்டான் — Photon

க

கசிவு — Leakage
கடத்தல் — Conduction
கடத்தல் ஒளிமின் விளைவு — Photo conductivity
கட்புலனாகாத — Invisible
கணத்தாக்குதல் — Impulse

கணிப்பான் ஆளும் முகிற் கலம்	—	Counter controlled chamber
கண்டுணர் கருவி	—	Detector
கதிரியக்கச் சமநிலை	—	Radioactive equilibrium
கதிரியக்க வளி	—	Radioactive emanation
கதிர்வீச்சு	—	Radiation
கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்தல்	—	Irradiation
கருமாற்றம்	—	Transmutation
கரைதிறன்	—	Solubility
கற்பிதமான	—	Hypothetical
கனபரிமாண	—	Stereoscopic
கனிமம்	—	Mineral
கனிம உணவூட்டம்	—	Mineral nutrition
காந்த நிறமாலை வரைவி	—	Magnetic spectrograph
காந்தப் பகுப்பாய்வு	—	Magnetic analysis
காமா ரேடியோகிராஃபி	—	Gamma radiography
கார்னோடைட்	—	Carnotite
கார்னோ தத்துவம்	—	Carnot's Principle
கால எண்	—	Time constant
கிளர்ச்சியுற்ற	—	Excited
குமிழ்க்கலம்	—	Bubble chamber
குருதியேற்றம்	—	Blood transfusion
குவார்ட்ரன்ட் எலெக்ட்ராமீட்டர்	—	Quadrant electrometer
குவார்ட்ஸ்	—	Quartz
குறைகடத்தி	—	Semi conductor
கூலும் விசை	—	Coloumb force
கூழ் வேதியியல்	—	Colloid Chemistry
கைகர்-முல்லர் எண்ணி	—	Geiger-Muller counter
கோண நிலையின் மாற்ற வீதம்	—	Rate of change of angular position

ச

சராசரி வாழ்வு	—	Average life, mean life
சரிக்கட்டுதல்	—	Neutralise
சரிசம நிலை	—	Parity
சவ்வு	—	Membrane
சார்பு	—	Function
சார்புக் கொள்கை	—	Theory of Relativity
சார்பு வேறுபாடுகள்	—	Relativistic variation

சால்கொலைட் — Chalcolite
சிதறல் — Scattering
சிதைவு இடநிலை விளக்க வரைபடம் — Decay scheme
சிதைவு மாறிலி — Disintegration constant
சிறப்பு எக்ஸ் கதிர்கள் — Characteristic X-rays
சின்க்ரோ சைக்ளட்ரான் — Synchro cyclotron
சுடர்க் கணிப்பான் — Scintillation counter
சுவடு அறியும் முறை — Tracer technique
சுழற்சிக் கோண உந்தம் — Rotational angular momentum
சுழி ஓட்டம் — Eddy current
செயல்திறமுடைய சேமிப்பு — Active deposit
செயற்கைக் கதிரியக்கம் — Artificial radioactivity
சேய் நியூக்ளைடு — Daughter nuclide
சேர்மம் — Compound
சைகை — Signal

ட

டூர்மலின் — Tourmaline
டைனோடு — Dynode

த

தகவு மாறிலி — Constant of proportionality
தங்க இலை மின்காட்டி — Gold leaf electroscope
தட்டையான — Flat
தணித்தல் — Quench
தலைகீழ் அளவு — Reciprocal
தவிர்க்கப்பட்ட கடந்து செல்கை — Forbidden transition
தற்கோள் — Assumption
தனித்தியங்குபவை — Independent
தனிம அமைப்பு — Periodic system
தன்வினை — Specific activity
தாமதமான கடந்து செல்கை — Delayed transition
தாய் நியூக்ளைடு — Parent nuclide
திரவச் சுடர்க்கணிப்பான் — Liquid scintillation counter
திருகு சுழலான — Helical
துகள் — Corpuscular

துகள் முடுக்கி	—	Particle accelerator
துடிப்பு இயற்றி	—	Pulse generator
துடிப்பு உயரப் பகிர்வு	—	Pulse height distribution
தூசுப் பொருள்	—	Dust
தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம்	—	Induced radioactivity
தூய்மைக்கேட்டுப் பின்னணி	—	Contamination background
தெவிட்டிய மின்னோட்டம்	—	Saturated current
தேர்வு விதி	—	Selection rule
தொகுபயன்	—	Resultant
தொகுப்புச் செயல் எல்லை வளைகோடு	—	Integral range curve
தொகை காணல்	—	Integration
தொடர்வினை அடுக்கு	—	Chain reactivity pile
தோற்றுவாய்	—	Source

ந

நடுநிலை	—	Neutral
நியூக்ளைடு	—	Nuclide
நிலைப்பாடு	—	Stability
நிலைபேறுன சமநிலை	—	Secular equilibrium
நிலைமம்	—	Inertia
நிலைமமற்ற அஞ்சல்கள்	—	Inertialess relays
நிலைமின் விசைகள்	—	Electrostatic forces
நிலையற்ற சமநிலை	—	Transient equilibrium
நிறுத்தும் திறன்	—	Stopping power
நிறை சிதறல் எண்	—	Mass scattering coefficient
நிறை செறிவு ஆவி	—	Saturated vapour
நீராற் சிதைவு	—	Hydrolysis
நுரைத்தெழுதல்	—	Effervescence
நெகிழ்ந்துகொடுக்கும் தன்மை	—	Adaptability
நெகிழ்ச்சியான	—	Flexible
நெடுக்கம்	—	Range

ப

படிக அணிக்கோவை	—	Crystal lattice
படிக எண்ணி	—	Crystal counter
படித்தரப்படுத்துதல்	—	Standardisation
பயனுறு செயல் எல்லை	—	Effective range
பரப்பு அடர்த்தி	—	Superficial density

பரப்புக் கவர்ச்சி — Adsorption
பலவழி வேறுபடு மின்துடிப்பு உயரப் பொறுக்கி — Multichannel differential pulse height selector
பாசிட்ரான் — Positron
பாசிட்ரான் இரட்டை — Positron pair
பாழ்நேரம் — Dead time
பிட்ச் பிளண்டி — Pitch blende
பிரதியீடு — Substitute
பிரிகை — Dissociation
பிரிதிறன் — Resolving power
பிளவு — Slit
பின் உதைப்பு — Recoil
பின்வரு அயனிகள் — Secondary ions
பின்னப் படிகமாக்கல் — Fractional crystallisation
பின்னணி விளைவு — Background effect
பிஸ்டன் — Piston
பீட்டாக்கதிர் நிறமாலைமானி — Beta ray spectrometer
புரோட்டான் — Protcn
புவியின் வயது — Age of earth
புல்லுருவி விளைவுகள் — Parasitical effects
புழல் விளைவு — Tunnel effect
புள்ளியியல் கூற்றெண் — Statistical factor
புள்ளியியல் விளைவு — Statistical effect
புறத் தூண்டுதலற்ற — Spontaneous
புற யுரேனியத் தனிமங்கள் — Transuranic elements
பூஜ்ய வாயுப் பெருக்கம் — Zero gas amplification
பெருக்கி ஒளிமின் குழாய் — Photomultiplier
பெல்டியர் குளிரும் விளைவு — Peltier cooling effect
பெல்டியர் சந்தி — Peltier junction
பென்டோடு — Pentode
பேட்மன் சமன்பாடுகள் — Bateman equations
பொதுமையமாக — Concentric
பொறி — Spark
பொறிக் கலம் — Spark chamber
பொலோனியம் — Polonium

ம

மந்த வாயு — Inert gas
மறுசீரமைப்பு — Reorganisation

மாறுதல்கள்	—	Fluctuations
மாற்றும் திறன்	—	Conversion efficiency
மிகவும் குளிர்வடைந்த	—	Super cooled
மின்காட்டி	—	Electroscope
மின்காலத் திட்ட அமைப்பு	—	Electrical timing
மின் துளை	—	Hole
மின்பகுப்பு	—	Electrolysis
மின்னழுத்த அரண்	—	Potential barrier
மின்னழுத்தப் பள்ளம்	—	Potential well
மின்னழுத்தப் பெருக்கி	—	Tension multiplier
மின்னிறக்கக் குழாய்	—	Discharge tube
மீச்சூடேற்றப்பட்ட	—	Super heated
மீட்சியியல் தன்மை	—	Elasticity
மீட்சியிலா மோதுகை	—	Inelastic collision
மீநிறை செறிவாக்கம்	—	Super saturation
முகிற்கலம்	—	Cloud chamber
முதன்மை நிறமாலை	—	Primary spectrum
முனைப்படுத்துதல்	—	Polarise
முனைப்புள்ளி ஆற்றல்	—	End point energy
மூளைக் கட்டி	—	Brain tumor
மெசாதோரியம்	—	Mesothorium
மைக்ரோ வெப்ப அளவியல்	—	Micro calorimetry
மையப்புழை	—	Diaphragm

வ

வகைக்கெழுச் சமன்பாடு	—	Differential equation
வகையீடு காணல்	—	Differentiate
வட்டவில் பாதை	—	Circular arc
வரம்பு மதிப்பு	—	Limiting value
வரிச்சுருள்	—	Solenoid
வரிமாலை	—	Line spectrum
வளைவு மாற்றப் புள்ளி	—	Point of inflexion
வன் தாக்கு	—	Bombardment
வாட்டம்	—	Slope
வாயுப் பெருக்கம்	—	Gas multiplication
விகித எண்ணி	—	Proportional counter
விரவல் எண்	—	Coefficient of diffusion
விரவல் முகிற்கலம்	—	Diffusion cloud chamber
விரிவு விகிதம்	—	Expansion ratio

விலக்கம் — Deflection, kick

விழும் எடை — Falling weight

விளிம்பு விளைவு — Diffraction

விளைபொருள் — Product

வினையாக்கி — Reagent

வீச்சு — Amplitute

வீழ்த்தி நுண்ணோக்கி — Projection microscope

வெப்பநிலை காப்பான் — Thermostat

வெப்பநிலை மாறா — Isothermal

வெப்பநிலை வாட்டம் — Temperature gradient

வெப்பம் மாறா — Adiabatic

வெளிவரு அளவு — Output

வெளிவிடுதல் — Emission

வெற்றிடத் தடைக்காப்பு — Vaccuum seal

வேதிச் சமநிலை — Chemical equilibrium

வேதியியல் சிதைவு — Chemical decomposition

வேதியியல் பகுப்பாய்வு — Chemical analysis

வேறுபடு செயல்எல்லை வளைகோடு — Differential range curve

வேறுபாடுகாட்டும் இரட்டைக் கலோரிமீட்டர் வகை — Twin differential type calorimeter

e-ன் மடி — Exponential

k கவர்தல் — K Capture

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை - 600 031.

★

தமிழில் பயில்பவர்க்குக் கல்லூரிப் பாடநூல்கள்

(Tamil Medium Books for Colleges)

1976 ஜனவரி வரை 700 நூல்கள் வெளியிடப்பட்டுள்ளன

★

மேலும் விரைவில் வெளிவருபவை

பொறியியல்	—	39	நூல்கள்
சட்டம்	—	17	,,
மருத்துவம்	—	18	,,
இயற்பியல்	—	23	,,
வேதியியல்	—	20	,,
தாவரவியல்	—	13	,,
விலங்கியல்	—	14	,,
கணிதம்	—	17	,,
வணிகவியல்	—	37	,,
பொருளாதாரம்	—	21	,,
புவியியல்	—	11	,,
வரலாறு	—	29	,,
மனையியல்	—	1	,,
தத்துவம்	—	4	,,
உளவியல்	—	8	,,
புள்ளியியல்	—	8	,,
கல்வி	—	15	,,
நிலப்பொறியியல்	—	6	,,
அரசியல்	—	19	,,

கிடைக்குமிடம்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனக் கிடங்கு

(கல்லூரிக் கல்வி இயக்குநர் அலுவலகச் சுற்றுக்குள்)

கல்லூரிச் சாலை, நுங்கம்பாக்கம்,

சென்னை - 600 006.

கல்லூரிப் பாடநூல்களுக்கு 20% கழிவு வழங்கப்படும்